



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Year (Yıl): 2022, Volume (Cilt):5, Number (Sayı):3

Dergi Sahibi / Owner

Prof. Dr. Turgay UZUN

Rektör

Sorumlu Müdür / Director

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Baş Editör / Editor in Chief

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN

Yardımcı Editorler / Associate Editors

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP

Dr. Öğretim Üyesi Aybüke LEBA

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa SÖYLER



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

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. 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. 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, KIRŞEHİR	isa.coskun@ahievran.edu.tr
Doç. Dr. Feridun DEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	feridundemir@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Şeyma TÜLÜCÜ DEMİRAY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	seymademiray@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	dozcan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behluls68@gmail.com
Doç. Dr. Mustafa SEVİNDİK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mustafasevindik@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.edu.tr
Doç. Dr. Esra TELLİ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	esratelli@osmaniye.edu.tr

Dr. Öğretim Üyesi Hediye Kirli AKIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hediyekirin@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hayriye Serra ALTINOLUK	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA	serraltinoluk@mu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	behcetdundar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDIK	Bayburt Üniversitesi, BAYBURT	betulgidik@bayburt.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Esra GÜRİSOY	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 Gör. Merve GÖRE	Ege Üniversitesi Ödemiş Meslek Yüksekokulu, İZMİR	merve.gore@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Gör. Emre YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emreyildirim@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Gör. Oğuzhan DER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	oguzhander@osmaniye.edu.tr
Ar. Gör. Dr. Buse EMİRLER	Çukurova Üniversitesi, ADANA	bemirler@cu.edu.tr
Ar. Gör. Dr. İlknur BALDAN IŞIK	Çukurova Üniversitesi, ADANA	ibaldan@cu.edu.tr

Dil Editörleri /Language Editors

Doç. Dr. Deniz ŞAHİN	Gazi Üniversitesi, ANKARA	dennokalk@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdog@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Tefide KIZILDENİZ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	tkizildeniz@ohu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Ezgi Pelin YILDIZ	Kafkas Üniversitesi, KARS	yildizezqipelin@gmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Özge SÜFER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ozgesufer@osmaniye.edu.tr

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
Doç. Dr. Nermin MERVE ÇETİNKAYA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	nbaykan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ehurdogan@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Özge ÖZTEKİN	Gaziantep Üniversitesi, GAZİANTEP	ozgedzo@gmail.com
Doç. Dr. Şeyda ŞAHİN	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	seydasahin@cumhuriyet.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Gökhan ALTAY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	gokhanaltay@osmaniye.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

*Alan editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

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. Demet ÇANGA	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	demetcanga@osmaniye.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. Canan ALADAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	cananaladag@osmaniye.edu.tr
Ar. Gör. Esra Zeynep ŞENSOY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ezeypensensoy@osmaniye.edu.tr

*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

Son Okuyucu Editörleri /Final Reader Editors

Doç. Dr. Ali BOLAT	Adıyaman Üniversitesi, ADIYAMAN	alibolat@adiyaman.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
Dr. Burcu TAYLAN	Ege Üniversitesi, İZMİR	burcu.taylan@ege.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

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN (Editor in Chief)

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

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



The referees list (Hakem listesi)

Year 2022, Volume 5, Issue 3 list of referees is given below.
(2022 yılı, Cilt 5, Sayı 3'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

Hakemler	Kurum
Prof. Dr. Abdullah KAPLAN	Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ISPARTA
Prof. Dr. Ahmet ALMACA	Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ŞANLIURFA
Prof. Dr. Ahmet Doğan DUMAN	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, HATAY
Prof. Dr. Ahmet FERTELLİ	Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, SİVAS
Prof. Dr. Ali Hamza TANRIKULU	Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ADANA
Prof. Dr. Ayhan KESİMAL	Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, TRABZON
Prof. Dr. Ayşe Tülin ÖZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Prof. Dr. Bahar BAYHAN	Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, İZMİR
Prof. Dr. Birol GÜROL	Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, ANKARA
Prof. Dr. Burhanettin Göker DURDU	Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, KİLİS
Prof. Dr. Bülent ORAL	Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Prof. Dr. Elif ÖĞÜT	Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, KOCAELİ
Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik, ÇANAKKALE
Prof. Dr. Fatih ÖZCAN	Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, MERSİN
Prof. Dr. Gönül AYDIN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, AYDIN
Prof. Dr. Gülşen ÇOPUR AKPINAR	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni

	Bölümü, HATAY
Prof. Dr. Gürcan KONAK	Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İZMİR
Prof. Dr. Hamit ADİN	Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, BATMAN
Prof. Dr. Handan VURUŞ AKÇAÖZ	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, ANTALYA
Prof. Dr. Hasan KURTARAN	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ADANA
Prof. Dr. Hatice ÇAĞATAY	Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ADANA
Prof. Dr. İsmet BOZ	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, SAMSUN
Prof. Dr. Kadir PEKTAŞ	İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İSTANBUL
Prof. Dr. Kadir YILMAZ	KSÜ Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, KAHRAMANMARAŞ
Prof. Dr. Mehmet Ali ÇULLU	Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ŞANLIURFA
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, ADANA
Prof. Dr. Mehmet Rifat ULUSOY	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Meltem MANAŞIRLI	Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, ADANA
Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN	İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, HATAY
Prof. Dr. Muhlis MACİT	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, ERZURUM
Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Tesisleri, ELAZIĞ
Prof. Dr. Murat YAVUZ SOLMAZ	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ
Prof. Dr. Musa SARICA	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, SAMSUN
Prof. Dr. Mustafa DEMİRCİ	İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, HATAY
Prof. Dr. Mustafa Bülent TORUN	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ADANA
Prof. Dr. Mustafa YİĞİT	Aksaray üniversitesi, Sabire Yazıcı Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, AKSARAY
Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ	Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri Ve Teknolojileri, ANTALYA
Prof. Dr. Nigar YARPUZ-BOZDOĞAN	Adana Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, ADANA
Prof. Dr. Nuray GÜZELER	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Gıda Teknolojisi, ADANA
Prof. Dr. Orhan BAYRAK	Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, ANTALYA
Prof. Dr. Özlem TONÇER	Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Tarım Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, DİYARBAKIR
Prof. Dr. Pınar DOĞAN	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik

	Elektronik Mühendisliği Bölümü, MUĞLA
Prof. Dr. Pınar DURU BAYKAL	Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, ADANA
Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, VAN
Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR	Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, ANKARA
Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU	Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, ANKARA
Prof. Dr. Selim EKER	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ADANA
Prof. Dr. Sezai ALKAN	Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ORDU
Prof. Dr. Şafak SAĞLAM	Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Prof. Dr. Şule TURHAN	Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, BURSA
Prof. Dr. Tülay ÖZCAN	Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği, BURSA
Prof. Dr. Vecdi DEMİRCAN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi, ISPARTA
Prof. Dr. Vincenzo TUFARELLİ	University of Bari Aldo Moro, İTALYA
Prof. Dr. Yaşar BİRBİR	Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Prof. Dr. Özlem FINDIK	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, NEVŞEHİR
Doç. Dr. Abdulkadir Mustafa OKANT	Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ŞANLIURFA
Doç. Dr. Adem KAYA	Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, ERZURUM
Doç. Dr. Ahmet ÇELİK	Adıyaman Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi Ziraat Mühendisliği Bölümü, ADIYAMAN
Doç. Dr. Ahmet DEMİRBAŞ	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, SİVAS
Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AFYON
Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, ANKARA
Doç. Dr. Asime Filiz ÇALIŞKAN KEÇE	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, ADANA
Doç. Dr. Asuman ASLAN DURU	Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, UŞAK
Doç. Dr. Aylin AĞMA OKUR	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, TEKİRDAĞ
Doç. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN	Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, ADANA
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi Eski Meslek Yüksekokulu, AKSARAY
Doç. Dr. Bülent ÖZSOY	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü, AYDIN
Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, MERSİN
Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji

	Sistemleri Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. Fatma HEPSAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. Füsun DOBA KADEM	Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, ADANA
Doç. Dr. Gökhan ARSLAN	Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama Ve İşleme Teknolojisi, ERZURUM
Doç. Dr. Gülden GÖK	Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, AKSARAY
Doç. Dr. Halil OZDEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. İsa COŞKUN	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, KIRŞEHİR
Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ	İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, MALATYA
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, UŞAK
Doç. Dr. Kadriye AYDEMİR	Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, AMASYA
Doç. Dr. Mehmet BİLİM	Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, KAYSERİ
Doç. Dr. Mehmet SÖNMEZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. Melih KUNCAN	Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, SİİRT
Doç. Dr. Murat ORAL	Konya Teknik Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü, KONYA
Doç. Dr. Mustafa İNCİ	İskenderun Teknik Üniversitesi, Erzin Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Meslek Yüksekokulu, HATAY
Doç. Dr. Önder DUYSAK	İskenderun Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi Deniz Bilimleri Bölümü, HATAY
Doç. Dr. Özge ÖZMEN	Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootekni Ve Hayvan Besleme Bölümü, ANKARA
Doç. Dr. Sibel AKÇA ÖZALP	Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, ADANA
Doç. Dr. Şaban ÜNAL	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Doç. Dr. Şenay GÜNGÖR	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, NEVŞEHİR
Doç. Dr. Tolga AKTÜRK	Ordu Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, ORDU
Doç. Dr. Volkan ESKİZEYBEK	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, ÇANAKKALE
Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ	Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik, TUNCELİ
Doç. Dr. Yusuf GÜREFE	Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Uygulamalı Matematik, MERSİN
Dr. Öğr. Üyesi Aslı BEKTAŞ KAMIŞLIK	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,

	Matematik Bölümü, RİZE
Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Bülent ZORLUGENÇ	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem Sazak TURGUT	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, RİZE
Dr. Öğr. Üyesi Didem OVALI DÖNDAŞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Doğançan KÂHYA	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, ESKİŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Esra GÜRİSOY	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Eleşkirt Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu, AĞRI
Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Pelin YILDIZ	Kafkas Üniversitesi, KARS
Dr. Öğr. Üyesi Fadime SEYREKOĞLU	Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, AMASYA
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AVCİL	Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, BİTLİS
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÜNAL	Mardin Artuklu Üniversitesi, Mardin Meslek Yüksekokulu, MARDİN
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Bünyan ÜNEL	Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, ANTALYA
Dr. Öğr. Üyesi Ferhat GÜNGÖR	Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Dr. Öğr. Üyesi Fırat EKİNCİ	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ADANA
Dr. Öğr. Üyesi Gizem BÜYÜCEK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mimarlık Tasarım ve Güzel Sanatlar Fakültesi, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTAY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Gözde TANTEKİN ÇELİK	Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, ADANA
Dr. Öğr. Üyesi Hayal AKYILDIRIM BEĞEN	Artvin Çoruh Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, ARTVİN
Dr. Öğr. Üyesi Haydar TUNA	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi İlhan KOÇ	Konya Teknik Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü, KONYA
Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Kezban YILDIZ DALGINLI	Kafkas Üniversitesi Kars Meslek Yüksekokulu, KARS
Dr. Öğr. Üyesi Levent LATİFOĞLU	Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, KAYSERİ
Dr. Öğr. Üyesi M. Murat YAVUZ	İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İZMİR
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cem ÇATALBAŞ	Ankara Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu,

	Elektronik ve Otomasyon Bölümü, ANKARA
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ERDEM İNCE	Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği, GAZİANTEP
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Eyyüp KAVŞUT	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tahir ERDİNÇ	Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, MERSİN
Dr. Öğr. Üyesi Merve YÜCEL	Hitit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, ÇORUM
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Fethi GÜLLÜ	Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA
Dr. Öğr. Üyesi Mümine KAYA KELEŞ	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ADANA
Dr. Öğr. Üyesi Nihan TOKAÇ	Alanya Alaattin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ANTALYA
Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer EVCİMEN DUYGULU	Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Met. ve Malzeme Müh. Bölümü, İSTANBUL
Dr. Öğr. Üyesi Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, YOZGAT
Dr. Öğr. Üyesi Ökkeş Gökalp SÖKMEN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN	Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, BAYBURT
Dr. Öğr. Üyesi Özge TEMİZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, OSMANİYE
Dr. Öğr. Üyesi Özlem GÜVEN	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, KAHRAMANMARAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Sedat BEHREM	Aksaray Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootečni ve Beslenme, AKSARAY
Dr. Öğr. Üyesi Talha SARICI	İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, MALATYA
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz KOÇAK	Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Polatlı Fen-Edebiyat Fakültesi, ANKARA
Dr. Öğr. Üyesi Zehan KESİLMİŞ	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ADANA
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda AKBULUT	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, VAN
Dr. Öğr. Görevlisi Nacide KIZILDAĞ ÖZDAL	Çukurova Üniversitesi, Rektörlük, ADANA
Dr. Öğr. Görevlisi Barış ÖZLÜ	Aksaray Üniversitesi, Aksaray Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, AKSARAY
Dr. Öğr. Gör. Oğuzhan DER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Dr. Elif Ayazoğlu DEMİR	Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maçka Meslek Yüksekokulu, TRABZON
Dr. Övgü ÇIDAR İYİKAL	Doğu Akdeniz Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fakültesi, KKTC

Dr. Utku Bulut ŞİMŞEK	Mersin Őniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, MERSİN
Őđr. Gör. Dr. Irmak POLAT	İstanbul Tıp Fakóltesi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü, İSTANBUL
Őđr. Gör. Dr. Mehmet KURUCAN	Ardahan Őniversitesi, Mühendislik Fakóltesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ARDAHAN
Őđr. Gör. Dr. Merve DANIŐMAN	Çanakkale Onsekiz Mart Őniversitesi, Bayramiç Meslek Yüksekokulu, ÇANAKKALE
Őđr. Gör. Dr. Metin ÇENGEL	Sakarya Uygulamalı Bilimler Őniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, SAKARYA
Araš. Gör. Dr. Burcu TAYLAN	Ege Őniversitesi, Su Őrünleri Fakóltesi, Su Őrünleri Temel Bilimleri Bölümü, İZMİR
Őđr. Gör. Nuri Yunus KOCADAĞ	Bingöl Őniversitesi, Bingöl Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, BİNGÖL



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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2022, Volume (Cilt):5, Number (Sayı):3

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
Burcu YEŞİLBUDAK Investigation of Population Characteristics of Rapa Sea Snail (<i>Rapana venosa Valenciennes, 1846</i>) in Çamburnu Bay (Trabzon) <i>Rapa Deniz Salyangozu (<i>Rapana venosa Valenciennes, 1846</i>) Populasyon Özelliklerinin Araştırılması, Çamburnu Koyu (Trabzon)</i>	1116-1127
Ahmet ÇALIK, Salih AKPINAR Dört Nokta Eğme Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarında İç Kademenin Bağlantı Hasar Yüküne Etkisi: Deneysel ve Sayısal Analiz <i>The Effect of Internal Step on Joint Damage Load in Adhesive Joints Subject to Four Point Bending Load: Experimental and Numerical Analysis</i>	1128-1140
Cihangir KOYCEGİZ, Meral BUYUKYILDIZ Estimation of Streamflow using Different Artificial Neural Network Model <i>Üç Farklı Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanarak Nehir Akımı Tahmini</i>	1141-1154
Fırat AYKAT, Arda Burak EKMEK Haydarpaşa Limanı Proje Alanının Doğrusal Olmayan Sismik Yerel İvme Değişimlerine Bağlı Sıvılaşma Analizi <i>Liquefaction Analysis of the Haydarpaşa Port Project Area Considering Nonlinear Seismic Local Acceleration Variations</i>	1155-1171
Emre KÜTÜK, Gürkan SEZMİŞ, Esra GÜRSOY Determination of Relative Feed Value, Energy and Nutrient Contents of Annual Ryegrass (<i>Lolium multiflorum Lam.</i>) <i>Tek Yıllık Çim (<i>Lolium multiflorum Lam.</i>) Yem Bitkisinin Nispi Yem Değeri, Enerji ve Besin İçeriğinin Belirlenmesi</i>	1172-1183
Celal ÖZDEMİR, Hakan ÇAĞLAR, Adem AHISKALI, Selçuk ÇİMEN, Çağrı AVAN Researching the Use of Marble Powder in Self-Compacting Light Concrete <i>Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonda Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması</i>	1184-1200
Mükremin ÖLMEZ, Kanber KARA, Özlem KARADAĞOĞLU, Metin ÖĞÜN, Tarkan ŞAHİN, İdil ŞERBETÇİ Chia Tohumu ve Probiyotik/ Enzim İlavésinin Ayrı ve Kombine Olarak Tuj Koyunları Rasyonlarında Kullanımının Performans, Rumen ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkisi <i>Effect of Single or Combined Dietary Supplementation of Chia Seed and Probiotic/Enzyme on Growth Performance, Ruminant and Some Blood Metabolites of Tuj Sheep</i>	1201-1215
Hüseyin ÜNAL, Salih Hakan YETGİN, Veysel Furkan ÜNAL Cam Elyaf/EPDM/Poliamid-6 Kompozitlerin Mekanik Performansının ve Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi	1216-1229

<i>Determination of Mechanical Performance and Microstructural Properties of Glass Fiber/EPDM/Polyamide-6 Composites</i>	
Mehmet SÖNMEZ Yeni Bir VOOK Modülör Mimarısının Tasarımı <i>Design of a New VOOK Modulator Architecture</i>	1230-1243
Mustafa HASAN, Serra ALTINOLUK A New Implementing Approach for Tracking Algorithm on Photovoltaic Systems <i>Fotovoltaik Sistemlerde İzleme Algoritması İçin Yeni Bir Uygulama Yaklaşımı</i>	1244-1273
Halil İbrahim ERŞAHİN, Yasemin KORKMAZ The Effect of The Ring Spinning Machine Top Drafting Roller Hardness and The Fiber Blend Ratio on The Quality of Yarn <i>Ring İplik Makinesinde Manşon (Üst Silindir) Sertliğinin Farklı Elyaf Karışımlarında Üretilmiş İplik Kalitesine Etkisinin Araştırılması</i>	1274-1281
Seyit Ahmet GÖKMEN, Behlül SEVİM, Osman OLGUN Damızlık Japon Bildırcın (<i>Coturnix coturnix Japonica</i>) Rasyonlarına Maca (<i>Lepidium meyenii</i>) Tozu İlavesinin Performans, Yumurta Kalitesi ve Kuluçka Parametrelerine Etkisi <i>Effect of Maca Powder Addition to Japanese Breeder Quail Diets on Performance, Egg Quality and Hatch Parameters</i>	1282-1292
Buse DUYAN ÇULHA, Evren TURHAN Küçük Ölçekli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Nümerik Olarak Modellenmesinde Hidrolik Parametrelerin Analizi <i>Analyzing Hydraulic Parameters in Numerical Modeling of Small-Scale Drinking Water Distribution Network</i>	1293-1307
Kenan AYTEN, Murat Mustafa SAVRUN Maximum Power Point Tracking Performance Benchmarking of High Step-Up DC-DC Converters <i>Yüksek Yükseltici DA-DA Dönüştürücülerin Maksimum Güç Noktası İzleme Performansı Karşılaştırması</i>	1308-1319
Tefide KIZILDENİZ, Taha Kutay AYDIN, Sidar GÖLER, Buse TUNA Impact of Altered Precipitation and Temperature Climate Pattern Relation with Climate Change-Related Factors (High CO₂, Elevated Temperature and Drought) on Wheat Production in Turkey <i>İklim Değişikliğine Bağlı Faktörlerle (Yüksek CO₂, Yüksek Sıcaklık ve Kuraklık) Değişen Yağış ve Sıcaklık İklim Modeli İlişkisinin Türkiye’de Buğday Üretimine Etkisi</i>	1320-1333
Ertuğrul CİHAN, Barış KAVASOĞULLARI, Hasan DEMİR Anulus Kanalda Hava-Hava Arası Nem Geçişinde Membranın Etkisinin İncelenmesi ve Kütle Transfer Eşitliklerinin Çıkarılması <i>Investigation of The Effect of Membrane on Air-Air Moisture Transfer in Annular Channel and Determination of Mass Transfer Equations</i>	1334-1353
Ebru KISTI, Erhan SAYIN, Necati OCAK, Ahmet FEYZİOĞLU Application of Heat Treatment to Aluminum Alloy Wires and Comparison of Full Alloy AAAC Conductor Manufactured with These Wires and Conventional ACSR Stranded Conductors <i>Alüminyum Alaşımllı Tellerle Isıl İşlem Uygulanması ve Bu Tellerle Üretilen Tam Alaşımllı AAAC İletkenlerle Geleneksel ACSR Örgüllü İletkenlerin Karşılaştırılması</i>	1354-1369
Ebru EFEOĞLU Destek Vektör Makinelerinin Wi-Fi Tabanlı İç Mekan Lokalizasyon Tespitinde Kullanımı ve Çekirdek Fonksiyon Seçiminin Sınıflandırma Performansına Etkisi: Anaokulu Öğrencilerinin Konumlarını Bulma Örneği <i>The Use of Support Vector Machines in Wi-Fi Based Indoor Localization Detection and the Effect of Kernel Function Selection on Classification Performance: An Example of Finding the Location of Kindergarten Students</i>	1370-1382
Aygül TEKİN KAKIZ, Muhammed Talha KAKIZ, Ramazan ÇOBAN An Evaluation of Autoencoder Neural Network Role in IoT Edge Computing <i>Nesnelerin İnterneti Uç Bilişimde Otokodlayıcı Sinir Ağının Rolüne İlişkin Bir Değerlendirme</i>	1383-1392

<p>Fatma HEPSAĞ, İbrahim HAYOĞLU Çukurova ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Satışa Sunulan Kırmızı Pul Biber ve Kuru İncirler'de Aflatoxin B₁ ve Toplam Aflatoxin (B₁,B₂,G₁,G₂) İçeriğinin Yüksek Performans Sıvı Kromatografi Yöntemi ile Belirlenmesi <i>Determination of Aflatoxin B₁ and Total Aflatoxin (B₁,B₂,G₁,G₂) Content in Red Peppers and Dried Figs Sold in Çukurova and the Eastern Mediterranean Region by High Performance Liquid Chromatography Method</i></p>	1393-1406
<p>Yunus Nail İNCE, Mehmet ÇELEBİ, Bedia ŞİMŞEK Çam ve Çiçek Balı İlavesi ile Üretilen Ayranların Bazı Kimyasal ve Duyusal Özellikleri <i>Some Chemical and Sensory Properties of Ayran Produced by Adding Honeydew Honey and Flower Honey</i></p>	1407-1418
<p>Ahmet BENİCE, Necat AĞCA Arsuz Ovası Topraklarının Tuzluluk ile İlgili Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Properties Related Salinity in Arsuz Plain Soils</i></p>	1419-1437
<p>Ali Samet SARKIN, Taner DİNDAR, Vedat ESEN, Yasin CENGİZ LED Işık Kaynaklı Solar Simülatörler Üzerine İnceleme <i>Survey on LED Light Source Solar Simulators</i></p>	1438-1452
<p>Esmâ KAHRAMAN Adana Çimento Çaldağ Hammadde Sahasında Yapılan Basamak Patlatmalarının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi <i>Investigation of Environmental Effect of Bench Blasting in Adana Cement Çaldağ Raw Material Field</i></p>	1453-1467
<p>Kadir DOĞAN, İsmail Yasin SÜLÜ Kompozit Dolgu ile Restorasyon Yapılmış Dişlerin Basma Yüğü Altındaki Mekanik Davranışı <i>Mechanical Behavior of Composite Filled Teeth Under Compression Load</i></p>	1468-1479
<p>İbrahim Özgür DENEME, Metin Hakan SEVERCAN Determination of Tire Contact Stress and Deflection Distributions in A Layered Half-Space Using 3-D Boundary Element Method <i>Tabakalı Zeminlerde Tekerlek Temas Gerilmesi ve Deplasman Dağılımlarının Üç Boyutlu Sınır Eleman Yöntemi ile Belirlenmesi</i></p>	1480-1493
<p>Mehmet DEMİRCİOĞLU, Necat AĞCA Arsuz Ovası Topraklarının Temel Özelliklerinin Yersel Dağılımının Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi <i>Determination of Spatial Distribution of Basic Properties of The Arsuz Plain Soils with Geostatistical Methods</i></p>	1494-1513
<p>Engin NAS Ramor 550 Çeliğinin Elektro Erozyon İşleme Metodu İle İşlenmesinde Proses Parametrelerinin Delik Çapına Etkisi <i>The Effect of Process Parameters on Hole Diameter in Electro Erosion Machining of Ramor 550 Steel</i></p>	1514-1526
<p>Halide ŞAHAN, Muhittin ŞAHAN, Eyyüp TEL Farklı seviye yoğunluk modelleri kullanılarak reaksiyon eşik değerinden 20 MeV'e kadar Paladyum izotoplarının (n,2n), (n,p) ve (n,α) tesir kesitlerinin hesaplanması <i>The (n,2n), (n,p) and (n,α) cross section calculations of the palladium isotopes using different level density models from the reaction threshold to 20 MeV</i></p>	1527-1549
<p>Bilal KALE, Ali AYGÜN Farklı Yetiştirme Sistemlerinden Elde Edilen Yumurtaların Farklı Sıcaklıklarda Depolanmasının Yumurta Kalitesi Üzerine Etkisi <i>The Effect of Eggs Obtained from Different Production Systems at Different Storage Temperatures on Egg Quality</i></p>	1550-1566
<p>Mehmet Eyyüp KAVŞUT, Recep YURTAL Silifke-Göksu Deltasında Yüzeysel Suyu-Yeraltı Suyu İlişkisinin Modellenmesi <i>Modeling of Surface Water-Ground Water Relationship in Silifke-Göksu Deltaic Plane</i></p>	1567-1578
<p>Erkan UĞURLU, Önder DUYSAK İskenderun Körfezi (Kuzey-Doğu Akdeniz, Türkiye)'nde Dağılım Gösteren İstilacı Deniz Kestanesi <i>Diadema setosum</i> (Leske, 1778)'un Boy-Ağırlık İlişkisi</p>	1579-1591

<i>Length-Weight Relationship of Invasive Sea Urchin Diadema setosum (Leske, 1778) from Iskenderun Bay, North-Eastern Mediterranean, Turkey</i>	
Bahadır OK, Hüseyin ÇOLAKOĞLU Kompaksiyon Yönteminin Farklı Tip Geri Dönüştürülmüş Agregalar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi <i>The Investigation of the Effects of Compaction Method on Different Types of Recycled</i>	1592-1607
Doğan Burak SAYDAM, Ertaç HÜRDOĞAN Damıtma Sistemlerinde Absorbsiyonlu Soğutma Çevrimlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Sistem Tasarımı <i>Evaluation of the Usage of Absorption Refrigeration Cycles in Desalination Systems and Design of a New System</i>	1608-1625
Mete ÖZBALTAN Elektrikli Araçların Şarjı ile Güç Şebekesine Aşırı Yüklenilmesinin Ayrık Denetleyici Sentezi ile Önlenilmesi <i>Avoiding Overloading of the Power Grid by Charging Electric Vehicles, by using Discrete Controller Synthesis</i>	1626-1634
Hüseyin KARLILAR, Hüsnüye AKA SAĞLIKER, Şahin CENKSEVEN <i>Iris stenophylla</i> subsp. <i>margaretiae</i> (Ak Navruz) Türünün Yayılımına Toprak Özelliklerinin Etkisi <i>The Effect of Soil Characteristics on the Spread of <i>Iris stenophylla</i> subsp. <i>margaretiae</i> (Ak Navruz) Species</i>	1635-1646
İlke ÜNLÜSOY Türkiye'de Damızlık Olarak Kullanılan Siyah Alaca (Holstein) Irkı Boğalarda Gözlenen Genetik Darboğaz <i>Observed Genetic Bottleneck in Holstein Bulls Used As Stud in Türkiye</i>	1647-1655
Nihat ARIKAN, Tahsin ÖZER Magnezyum Bazlı Mg₃Bi Biyo-Emilebilir Alaşımların Elastik Özelliklerinin Ab İnitio Çalışması <i>Elastic Properties of Magnesium Based Mg₃Bi Bioresorbable Alloys: Ab Initio Study</i>	1656-1671
Nermin BAHSI, Dilek BOSTAN BUDAK, Zeynep ZAIMOĞLU, Aybüke KAYA Attitudes and Behaviors of People about Environment in Adana Province, Turkey <i>Adana İli'ndeki Bireylerin Çevre Konusundaki Tutumları ve Bireysel Davranışları</i>	1672-1689
Seyma TULUCE DEMIRAY, Emre CEREN Solutions for KMM System and Generalized Hyperelastic-Rod Wave Equation <i>KMM Sistemi ve Genelleştirilmiş Hiperelastik-Rod Dalga Denklemi için Soliton Çözümler</i>	1690-1703
Muhittin ŞAHAN Kısa Dönemli Değen Çift Yıldızın İlk Fotometrik Analizi: KIC3848042 <i>The First Photometric Analysis of Short-Period Contact Binary Star: KIC3848042</i>	1704-1719
Halil YILMAZ, Ümit YURT, Şule TÜDEŞ, Hanifi TOKGÖZ, Türkey TÜDEŞ, Mustafa DAYI Gazi Üniversitesi Kampüs Bilgi Sistemi Tasarımı ve CBS ile Entegrasyonu <i>Gazi University Campus Information System Design and Integration with GIS</i>	1720-1732
Tayfun KAYA Investigation of Wolbachia Bacteria in Different Insect Taxa <i>Farklı Böcek Taksonlarında Wolbachia Bakterisinin İncelenmesi</i>	1733-1743
Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR Determination of Adaptability of Sesame (Sesamum Indicum L.) Genotypes in Siirt Ecological Conditions <i>Susam (Sesamum indicum L.) Genotiplerinin Siirt Ekolojik Koşullarına Adaptasyonunun Belirlenmesi</i>	1744-1752
Pervin Oya TANERİ, Nuri ERDEM Temel Harita Bilgilerinin Alan Uzmanları Eşliğinde Değişik Yaş Gruplarındaki Katılımcılara Aktarılması: Bir Etki Analizi Çalışması <i>Transfer of Basic Map Information to Participants of Different Age Groups Accompanied by Field Experts: An Impact Analysis Study</i>	1753-1780
Çağdaş AKPINAR İki Farklı Yetiştirme Döneminde Mikoriza ve Fosfor Uygulamalarının Dolmalık Biber	1781-1790

Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkisi <i>The Effect of Mycorrhiza and Phosphorus Applications on the Growth and Nutrient Uptake of Bell Pepper Plant in Two Different Growing Periods</i>	
Şeyma BİBER TEMİRCİK Optik Cam ve Çeşitlerinde Radyasyon Geçirgenliği ve Soğurma Katsayıları <i>Radiation Permeability and Absorption Coefficients in Glass Types</i>	1791-1800
REVIEWS (DERLEMELER)	
Fahrettin Anıl SIRLIBAŞ, Şeyma CİVAN, Zübeyde KUMBIÇAK, Ümit KUMBIÇAK Biyolojik Mücadelede Örümceklerin Rolü Üzerine Bir Derleme <i>A Review on The Role of Spiders in Biological Control</i>	1801-1814
Elif ÇELİK, Doğanay YÜKSEL, Özlem TURGAY Farklı Ekosistemlerde Mikroplastik Kirlilik: Oluşum, Toksikite ve Riskler <i>Microplastic Pollution In Different Ecosystems: Occurrence, Toxicity and Risks</i>	1815-1842
Fazilet GÖK, Suat EKİN Vanadyumun Sağlık Açısından Önemi, Maruziyeti ve Toksisitesi <i>Health Importance, Exposure and Toxicity of Vanadium</i>	1843-1854
Makbule YANGÜN, Gamze MAZI Likenaz ve Laminarinaz Enzimlerini Üreten Bacillus Suşlarının Balık Yem Katkısı Olarak Kullanımı <i>Use of Bacillus Strains Producing Lichenase and Laminarinase Enzyme as Fish Feed Additives</i>	1855-1871
Milena MILOJEVIĆ, Aleksandra MILOŠEVIĆ, Tugay AYASAN, Sladjana ZARIĆ, Sevdan INAN Organic and Ecological Production of Chicken Meat and Eggs: A Review of The Regulatory Harmonization Between the EU and Republic of Serbia <i>Tavuk Eti ve Yumurtalarının Organik ve Ekolojik Üretimi: AB ile Sırbistan Cumhuriyeti Arasındaki Mevzuat Uyumunun Gözden Geçirilmesi</i>	1872-1889
Murat Erdal DERE Modernleşmenin Sembolü Tarihi Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesi <i>The Symbol of Modernization Historical Muğla Clock Tower and Muvakkithane</i>	1890-1911
Emel ÇELİK, Nezaket PARLAK Endüstriyel Mısır Kurutmada Temel Parametreler ve Kurutma Sistemleri <i>Design Principles of Industrial Corn Drying Systems</i>	1912-1933

Investigation of Population Characteristics of Rapa Sea Snail (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) in Çamburnu Bay (Trabzon)

Burcu YEŞİLBUDAK^{1*}

¹Department of Biology, Faculty of Science and Letters, Çukurova University, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-3627-0024>

*Corresponding author: yesilbudak@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 09.12.2021

Accepted: 10.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Accumulation
Metal analyses
Morphometry
Sea snail

ABSTRACT

In the present study, some population characteristics of Rapa Sea snail (*Rapana venosa*) samples collected from the coastal zone of the Eastern Black Sea were investigated. For this purpose, Rapa whelk samples were collected by snorkeling from depths of ~7-13 m in Çamburnu Bay (Trabzon) in the year 2020. Morphometric measurements such as shell size (shell length and width) and operculum size (aperture length and width) as well as total body weight were measured using a calliper with an accuracy of ± 0.01 cm and a digital balance with an accuracy of ± 0.01 g, respectively. Metal levels [zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd) and lead (Pb)] in muscle and hepatopancreas tissues of gastropods were measured by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES). It was observed that 48.76% of the sampled sea snail population was female and 51.24% was male. The mean shell length-shell width, aperture length-aperture width, and snail total body weight were determined as 35.6-27.2 mm, 26.5-11.7 mm and 14.6 g, respectively. In this study, the relation showing the relationship between the total shell length and the total body weight of the sea snail was calculated as $W=0.0034*SL^{2.63}$. The least accumulation was observed at the level of lead and cadmium, when the metals in the sea snail muscle tissue were examined. On the other hand, when the metals in the hepatopancreas tissue were examined, excessive accumulation was observed at the level of zinc and copper. In addition, a positive correlation was determined between the metal accumulation in the tissues and the wet weight of the unshelled snail and the aperture length, respectively.

Rapa Deniz Salyangozu (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) Populasyon Özelliklerinin Araştırılması, Çamburnu Koyu (Trabzon)

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.12.2021

Kabul tarihi: 10.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Birikim
Metal analizleri
Morfometri
Deniz salyangozu

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz kıyıs alandan toplanan deniz salyangozu (*Rapana venosa*) örneklerinin bazı populasyon özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla 2020 yılı içerisinde Çamburnu Koyu (Trabzon) ~7-13 m derinliklerden şnorkel ile Rapa salyangozu örnekleri toplanmıştır. Kabuk boyutu (kabuk boyu ve genişliği) ve operculum boyutu (ağız boyu ve genişliği) ile toplam vücut ağırlığı gibi morfometrik ölçümler ± 0.01 cm hassasiyetli kumpas ve ± 0.01 g dijital terazi ile ölçülmüştür. Gastropodların kas ve hepatopankreas dokularındaki metal düzeyleri [çinko (Zn), bakır (Cu), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb)], indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi ile ölçülmüştür (ICP-OES). Örneklenen deniz salyangozu populasyonunun %48,76'sının dişi, %51,24'ünün erkek bireylerden olduğu gözlenmiştir. Ortalama kabuk boyu-kabuk genişliği, ağız boyu-ağız genişliği ve salyangoz toplam vücut ağırlığı sırayla 35,6-27,2 mm, 26,5-11,7 mm ve 14,6 g olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada deniz salyangozunun toplam kabuk boyu ile toplam vücut ağırlık ilişkisini gösteren bağıntı $W=0.034*SL^{2.63}$ olarak hesaplanmıştır. Deniz salyangozu kas dokusundaki metaller incelendiğinde en az birikim kurşun ve kadmiyum düzeyinde gözlemlendi.

Diğer yandan hepatopankreas dokusundaki metaller incelendiğinde çinko ve bakır düzeyinde aşırı birikim gözlemlendi. Ayrıca, dokularda metal birikimi ile salyangozun kabuksuz yaş ağırlığı ve operkulum boyutları arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.

To Cite: Yeşilbudak B. Investigation of Population Characteristics of Rapa Sea Snail (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) in Çamburnu Bay (Trabzon). *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1116-1127.

1. Introduction

Rapa whelk *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae) have many stands in a broad range of temperature, salinity, oxygen survivability, generalist feeding behaviour and high fecundity. That's why they have been successful nautical invaders over time (Harding and Mann, 1999; Scarabino et al., 1999; Pastorino et al., 2000). Gastropods, an important group in macrobenthic fauna, are distributed in aquatic habitats. Therefore, they are used in risk assessment of aquatic environmental quality and are consumed by carnivorous fed (crustaceans, fish, birds and mammals etc.) and saprophyte in other trophic levels (Salánki et al., 2003). Rapa whelk usually feeds on other Mollusca species such as oysters, mussels, and clams (Harding and Mann, 1999; Savini et al., 2002; Savini and Occhipinti Ambrogi, 2006; Harding et al., 2007; Kasapoğlu, 2021). The first periods of such gastropod life cycles, which are peculiar to temperate waters, developed very rapidly (Harding et al., 2008). Its consumption and export as food also started to be important whilst it is one of the biggest pests of mussel and oyster beds in the Black Sea (Yücel et al., 2013). The majority of its production (64.5%) is obtained from the Eastern Black Sea Region. According to the Turkish Statistical Institute (TUIK, 2021) reports, sea snail has been one of the stocks exploited by Turkish fishermen since 1986. It has been stated in various studies that the habitats where sea snails can best survive in the Black Sea are sandy, algae, sandy-algae and muddy environments, ranging from 0-100 m depths (Düzgüneş et al., 1988). They live in deep waters in winter and coastal zones during April-October (Karayücel, 1992). Global aquaculture production is increasing rapidly to meet the increasing consumption-based demand as human beings turn to fisheries for economic and ecological reasons (FAO, 2018). Likewise, coastal regions provide vital habitats for aquatic life sustainability (Constantin et al., 2015). However, changes in environmental pollution affect these ecosystems negatively and impact the growth and development of living beings there. Knowing the differences and variability in body sizes of living creatures in aquatic systems is significant in recording scientific reports and determining various aspects of aquatic population dynamics (Erzini, 1994). Domestic and industrial wastes, which occur due to irregular population growth, cause an increase in the level of metal pollution in the seas (Zhou et al., 2001). Heavy metal concentrations in marine organisms vary depending on water temperature, salinity, age, size and feeding habits of the animal (Eastwood and Couture, 2002; Göksu et al., 2005). Accordingly, some small shellfish, such as molluscs, can accumulate heavy metals and other toxic substances in their tissues up to 100000 times their level in the water (Avelar et al., 2000). This study aims to make various evaluations about some morphological parameters and heavy metal levels of sea snails sampled from Çamburnu Bay in Trabzon.

2. Material and Methods

This study was carried out in Çamburnu Bay, Trabzon (40° 55'33.35 N'' - 40° 12' 11.43'' E) of the Eastern Black Sea Region in September 2020 (Figure 1).

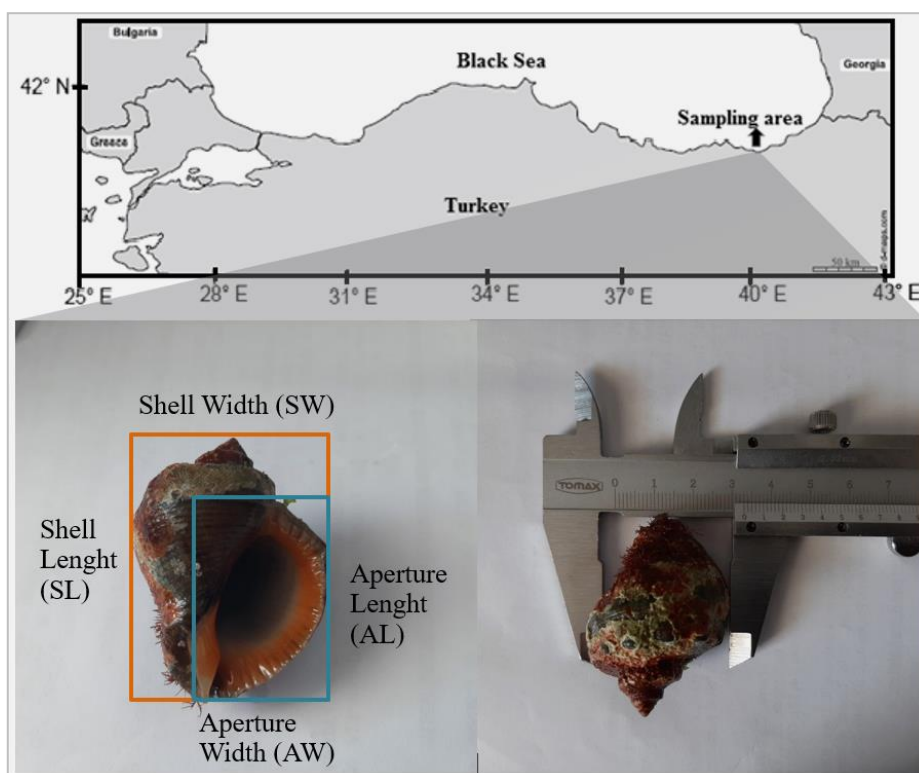


Figure 1. Sampling area and shell size measurements of a sea snail (♂) in Çamburnu Bay, Turkey.

Rapa whelk (n:121) were generally sampled in a sandy-muddy area from green macroalgae canopy (*Ulva sp.*, *Ceramium sp.*) habitat. Sea snails were sampled manually by daytime snorkeling from depths of ~7-13 m in Çamburnu Bay. Then, the collected samples were quickly placed in an insulated box containing ice and stored in a deep freezer (-20⁰ C) until the analysis time. Rapa whelk was identified in the field. The scientific name of samples was rechecked according to Molluscabase (2021). Morphologic measurements including shell length, shell width, aperture length, aperture width, total body weight and unshelled weight were performed using a calliper with an accuracy of ±0.01 cm and a digital balance with an accuracy of ±0.01 g, respectively (Figure 1). The gonads of the snails whose shells were removed were examined under a simple hand lens and sex determination was made. The yellow colour at the terminal end of the internal organs was determined as the female indicator of the snail, and the brown colour was determined as the male individual indicator of the snail and noted (Erik, 2011; Sağlam et al., 2015). Muscle and hepatopancreas tissues of snails were dissected (n=121), and their heavy metal analysis in tissues was measured by ICP-OES (Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry). All chemicals used in heavy metal analysis are of analytical quality and concentrated 69% HNO₃ and 60% HClO₄ (Merck) were used in the experiments. Working standards for inductively coupled ICP-OES analysis were prepared from proper standard solutions containing 1000 ppm for each element tested (PerkinElmer, USA).

Each tissue sample was heated in an oven at 105 °C for 18 hours. A weight of 0.5 g of each snail sample was treated with a mixture of 3 mL of 69% HNO₃ and 1 mL of 60% HClO₄ to induce acid digestion and carried out at 200 °C. An aliquot of 5 mL of 1% HNO₃ was added to each tissue sample and filtered through 0.45 µm filter paper and made up to 25 mL with deionized water and stored in polyethylene tubes at +4 °C until analysis (Massadeh et al., 2016). The recovery percentages of the device for Zn, Cu, Cd, Pb were 98.10%,

97.70%, 91.40% and 95.05%, respectively. The lobster hepatopancreas (TORT-2) was used as standard reference material. The length and weight relationships were determined by using the equation $W=axL^b$, where W was the total wet weight (g), L was the total length (cm), a and b were the relationship constants (Ricker, 1975). Whether the slope was different from $b=3$ (isometric or allometric growth type) was determined by Pauly's t -test (Pauly, 1984). Data were evaluated using SPSS software (SPSS Statistics V 27.0.1.0, IBM, Corp., USA) and Bio-Vinci software (V 3.0.9., BioTuring Inc., San Diego, CA, USA). Statistical analyses of data were carried out using descriptive analysis for morphologic measurements, and the Pearson correlation test was applied after the normality test was verified (Sokal and Rohlf, 1995).

3. Results

The results showing the morphometric characteristics (gender, min-max value, growth type) and L-W relationships (a , b , R^2 and $SE(b)$) were estimated for the snails are given in Table 1. Tissue dissection was performed for essential and non-essential metal analyses of a total of 121 snails collected from Çamburnu Bay in September 2020, and predation was witnessed on one specimen (Figure 2).



Figure 2. First report of predation on sea snail (♀) by a kind of hail crab in Çamburnu Bay, Turkey.

The relationships between the shell's total weight and shell length, between the total weight and aperture length, between the shell length and aperture length, and between the shell width and aperture width in sea snails were shown in Figure 3. The mean values with standard errors for heavy metals of each tissue were estimated for both genders and were given in a bar graph (Figure 4). It was found that 48.76 % of the collected sea snail population was female, while 51.24 % was male (Table 1). For all the sea snails sampled from Çamburnu Bay, the arithmetic mean and standard error of estimation values of the shell length, shell width, total body weight, aperture length and aperture width were obtained as 35.6 ± 0.02 mm, 27.2 ± 0.01 mm, 14.6 ± 0.01 g, 12.0-39.4 mm, 0.80-19.5 mm, respectively. Minimum and maximum values of the shell length,

shell width, total body weight, aperture length and aperture width were calculated as 17.5-51.1 mm, 7.00-42.9 mm, 1.0-26.75 g, 7.0-42.9 mm, 0.80-16.5 mm for the female snails, and 17.5-52.8 mm, 8.90-43.8 mm, 2.5-31.64 g, 8.9-43.8 mm, 2.30-19.5 mm for the male snails. The coefficient of determination R^2 values for the female and male sea snails were 0.89 and 0.88 ($P < 0.01$), respectively. The values of b and standard errors of b for the female and male snails were found as 2.89, 2.37 and 0.03, 0.02 (Table 1), respectively. The total length-weight relationships of the female and male snails were found as follows: $W = 0.0038 * TL^{2.89}$ for the females, and $W = 0.0030 * TL^{2.37}$ for the male sea snails. In this study, negative allometric growth was determined for both genders, since the b value was obtained to be less than 3 (see Table 1).

Table 1. Biometrical data and estimated shell length (SL) - total weight (TW) relationships of *Rapana venosa* sampled from Çamburnu Bay (Turkey) in 2020-2021 (n=121).

N (%)	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	AL (mm)	AW (mm)	Relationship Parameters				GT
						a	b	SE(b)	R ²	
	$\bar{x} \pm SEM$	$\bar{x} \pm SEM$	$\bar{x} \pm SEM$	$\bar{x} \pm SEM$	$\bar{x} \pm SEM$					
	Min-Max	Min-Max	Min-Max	Min-Max	Min-Max					
♀ (48.76%)	59 17.5-51.1	28.1±0.01 7.00-42.9	12.9±0.11 1.0±26.75	28.1±0.01 7.0-42.9	9.90±0.01 0.80-16.5	0.0038	2.89	0.03	0.89	A-
♂ (51.24%)	62 17.5-52.8	26.3±0.01 8.90-43.8	16.15±0.1 2.5-31.64	26.3±0.01 8.9-43.8	13.4±0.01 2.30-19.5	0.0030	2.37	0.02	0.88	A-
∑ (100%)	121 17.5-52.8	27.2±0.01 7.00-43.8	14.6±0.01 1.0-31.64	26.5±0.01 7.0-43.8	11.7±0.02 0.80-19.5	0.0034	2.63	0.02	0.88	A-

♀, female; ♂, male; ∑, all; N, number of specimens; $\bar{x} \pm SEM$, arithmetic mean± standard error of the mean; Min-Max, the range of variability of the linear and mass indices; a , b , coefficients of the equations; SE(b), standard error of estimation; R^2 , coefficient of determination; GT: growth type, A-: negative allometry.

When we compared the total weight in both genders with the aperture lengths and shell length, we found a significant positive correlation ($P < 0.01$; 0.92; 0.97; Figure 3). A significant positive correlation was also determined ($P < 0.01$; 0.93) between the shell length and aperture length for both genders. However, we did not observe the same relationship between shell width and aperture width ($P > 0.05$; 0.16; Figure 3). In addition, the shell rate of the snails was 74.56%, and the net meat rate was 15.44%. Pearson correlation coefficient was significant ($P < 0.01$; 0.96) between the shell weight and the unshelled weight of the snails. The highest accumulations of zinc, copper, cadmium and lead were determined in the hepatopancreas tissue, while the least accumulations were observed in the muscle tissue (Figure 4). A positive correlation coefficient was determined between the unshelled body weight of the snails and the total zinc, copper,

cadmium and lead levels in the muscle and hepatopancreas tissues ($P < 0.01$; 0.87; 0.79; 0.95; 0.96). Additionally, a positive correlation coefficient was found between the aperture length and total zinc, copper, cadmium and lead accumulation in tissues of sea snail ($P < 0.01$; 0.72; 0.82; 0.85; 0.83).

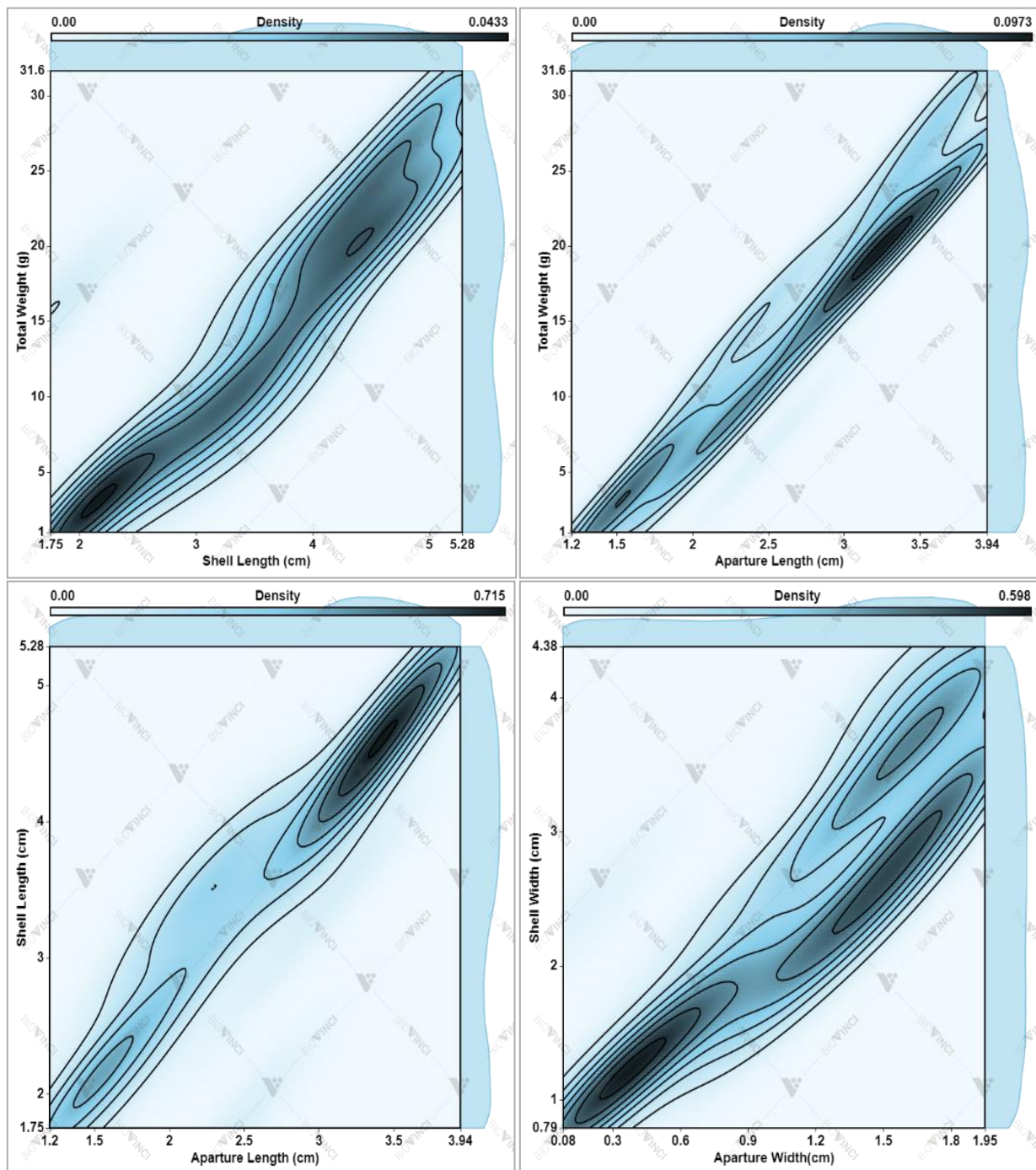


Figure 3. The relationship between morphometric size measurements of sea snails (for both genders) in the 2D- Density plot map.

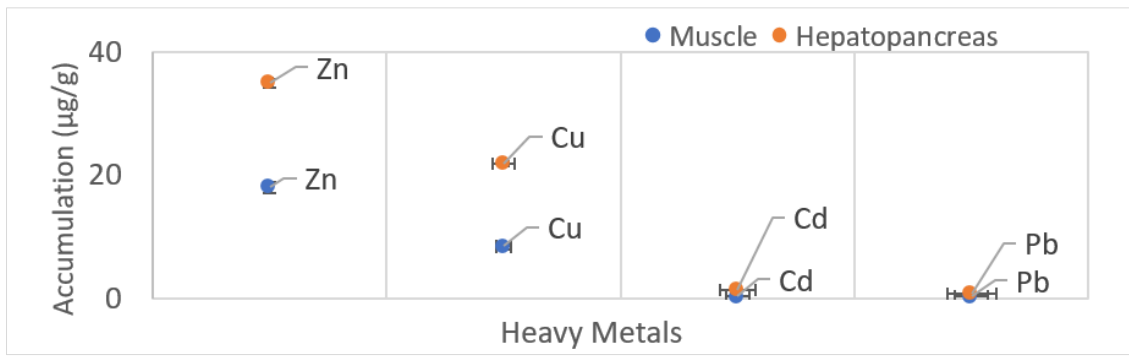


Figure 4. The mean value and standard deviations of heavy metal accumulations in muscle and hepatopancreas tissues of both genders.

4. Discussion

Studies examining the biochemical composition and body parameters of living beings together are becoming increasingly important in terms of time and space under the influence of changing environmental conditions. In this study, male individuals of sea snail specimens, which had reached sexual maturity, were determined to be 2.48 % more than female individuals ($P>0.05$), and the female - male ratio in the *R. venosa* population was found to be 1:1.05. In two studies conducted in the Eastern Black Sea region of Turkey, the male and female ratio were determined as 1:1.6 and 1:1.15 in the snails sampled, and the male ratios were observed as dominant (Sağlam, 2003; Sağlam et al., 2015). This slight abundance on behalf of males may indicate possible imposex as reported in the Black Sea side of Romania (Micu et al., 2009). It was determined that the sea snails in Sevastopol Bay reach a shell length from 20 mm to 40 mm in their first year, and individuals with a shell length of 35-78 mm reached their first reproductive maturity at the age of two. It was also reported that the breeding time of the sea snail was between July and September, and the spawning time lasted from May to November (Ciuhcin, 1984). It was pointed out that the shell rate of the sea snails in the Eastern Black Sea was 62.27% and the net meat yield was 17.21% (Düzgüneş and Feyzioğlu, 1994). The net meat yield of sea snails was found to be 19.50% in another study conducted in the Eastern Black Sea region (Koral and Kıran, 2017). The total length and weight measurements of Rapa snails sampled from the Bulgarian coast of the Black Sea, Central Black Sea (Sinop) were measured as 70-92 mm and 80-172 g, 64.9 mm and 46.1 g, respectively (Prodanov et al., 1995; Erik, 2011). In the present study carried out on the coast of Çamburnu, the shell rate was 74.56%, and the net meat rate was 15.44%. In addition, the average length of the species was determined as 35.6 mm and the weight as 14.60 g, while the growth type was found as negative allometric (Table 1). This situation can be explained by the fact that the size and weight of the snails and the changes in the shell and meat yield might have varied depending on different regions. The total length and total weight relationship parameters of the snails in the Sinop-Central Black Sea was reported as $W=0.0002*TL^{2.87}$ (Erik, 2011), whereas it was reported as $W=0.0001*TL^{2.93}$ in Laizhou Bay (Wu, 1988), which revealed that the b coefficient was rather high compared to the present study. The determination coefficient (R^2) was found in this study as 0.88, which indicates a strong relationship. This was slightly lower than other studies in which values were reported as 0.93 and 0.98 (Wu, 1988; Erik, 2011).

It was observed that the examined heavy metals accumulated the least in the muscle tissue and the most in the hepatopancreas tissue, in this study. The zinc, copper, cadmium, and lead concentration values measured in the sea snails were observed higher in the hepatopancreas than in the muscle by 1.94-fold, 2.60-fold, 4.48-fold and 2.48-fold, respectively. Hepatopancreas tissue is a very efficient organ in the uptake and storage of heavy metals. In particular, the hepatopancreas is the main regulatory organ and the primary storage and detoxification site of metals (Al-Yousuf et al., 2000). It is extremely important to monitor contaminants in regions, where sea food and nutrition is intense. Lead accumulation in the hepatopancreas of the gastropods was investigated, and a low prevalence of imposex in the gastropods in Bacoor Bay was reported (Su et al., 2015). Metal accumulation in snail tissues is at low levels, since the area is a protected area and pollution and industrial establishments were not common. It is also known that water temperature plays an important role in metal accumulation because it increases the metabolic rate (Yılmaz, 2003). In mollusca, acceptable copper level is reported as 10-30 µg/g, zinc level 40-100 µg/g (Wagner and Boman, 2004), 1 µg/g wet weight for cadmium and lead (EU, 2001). In another study, the acceptable limit for crustaceans was determined as 0.10 µg/g for copper, 50 µg/g for zinc, 0.10 µg/g and 1.50 µg/g wet weight for cadmium and lead, respectively (Mol et al., 2005). In this study, it was observed that the total zinc, copper and lead levels were within acceptable limits and did not pose a risk, while the total cadmium level slightly exceeded the acceptable limits.

In this study, a significantly positive relationship was determined between the unshelled wet weight and aperture length of the snails with metal accumulation in tissues ($P < 0.01$). This situation can be explained by the metabolic rate of the creature until sexual maturity in the first two years and the excellent chance of uncompetitive feeding. On the other hand, it has been reported in the literature that there are other upper trophic related species that feed on this species, which results in the transfer of the current heavy metal level to such upper trophic species (Harding, 2003; Carranza et al., 2011; Bonelli et al., 2016). Given that heavy metal accumulations are observed more in small organisms depending on their metabolic structure (Boyden, 1974), sea snails are important bioindicators for monitoring heavy metals because they feed on a variety of mussels, oysters and other bivalves (Kos'yan, 2013) and thusly, absorb and accumulate heavy metal at the trophic level. In this way, they may provide heavy metal transport to the upper trophic organisms that feed on them (Figure 2) (Harding, 2003; Carranza et al., 2011; Bonelli et al., 2016). A similar situation was witnessed in this study, as well (e.g.: Figure 2). Similarly, it has been stated that sea snails are destructively damaging the benthic ecosystem of the Black Sea as they are an invasive species (Bat and Öztekin, 2016). However, over time, they have also started to fulfil the role of intermediate chain at the trophic level and have created a niche for themselves (Figure 2) (Harding, 2003; Carranza et al., 2011; Bonelli et al., 2016). According to the data we have obtained, it has been observed that the metal levels in the tissues of *R. venosa* collected from the marine coastal area of the Çamburnu nature reserve are low considering the acceptable metal levels.

5. Conclusions

Significant morphological differences were observed between *R. venosa* in different habitats evinced in the literature. The difference in their ecological conditions is reflected, first of all, in the dimensions of their shells, total weight, aperture dimensions and unshelled body weight. The main ecological factors that determine the morphological measurements and heavy metal amounts of the Rapa snails in different habitats are the potential prey they feed on and the diversity of their prey. The most important feature of the sea snail is that it consumes other trophic-level aquatic species such as mussels and oysters due to its carnivorous feeding feature. Mussels constitute an essential part of the zoobenthic fauna in the Black Sea, and these mussel beds are the food source of commercially important demersal fish. The decrease in mussel beds also affects the feeding environment of demersal fish. In this study, metal accumulation in muscle tissue was found to be less risky compared to the hepatopancreas. However, this situation creates a paradox: the hepatopancreas tissue is softer and more preferable to consume compared to the muscle tissue (Watabe et al., 2000), and thus, the transport of heavy metals into the predators of *R. venosa* becomes more possible. With this regard, it becomes of vital importance to regularly monitor metal accumulation studies in rapanas at regular intervals in terms of monitoring marine pollution.

Statement of Conflict of Interest

Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Al-Yousuf MH., El-Shahawi MS., Al-Ghais SM. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Science of the Total Environment* 2000; 256(2-3): 87-94.
- Avelar WEP., Mantelatto FLM., Tomazelli AC., Silva DML, Shuhama T., Lopes JLC. The marine mussel *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) as an indicator of contamination by heavy metals in the Ubatuba bay, Sao Paula, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution* 2000; 118: 65-72.
- Bat L., Öztekin, HC. Heavy metals in *Mytilus galloprovincialis*, *Rapana venosa* and *Eriphia verrucosa* from the Black Sea coasts of Turkey as bioindicators of pollution. *Walailak Journal of Science and Technology* 2016; 13(9): 715-728.
- Bonelli AG., Giachetti CB., Jaureguizar AJ., Milessi AC. First report of predation by a small shark on the invasive rapa whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in Argentinean waters. *Bioinvasions Record* 2016; 5(3): 169-172.
- Boyden CR. Trace element content and body size in molluscs. *Nature* 1974; 251(5473): 311-314.

- Carranza A., Estrades A., Scarabino F., Segura A. Loggerhead turtles *Caretta caretta* (Linnaeus) preying on the invading gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes) in the Río de la Plata Estuary. *Marine Ecology* 2011; 32(2): 142-144.
- Ciuhcin VD. Ecology of the gastropod molluscs of the Black Sea. Academy of Sciences of the USSR, Kiev Naukova Dumka 1984; 175.
- Constantin S., Doxaran D., Constantinescu Ş. Estimation of water turbidity and analysis of its spatio-temporal variability in the Danube River plume (Black Sea) using MODIS satellite data. *Continental Shelf Research* 2015; 112: 14-30.
- Düzgüneş E., Karaçam H., Seyhan K. Deniz salyangozu (*Rapana venosa* Val. 1946) nun büyüme özellikleri ve yenilebilir et oranlarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. (A research on the growth characteristics and edible meat ratio of sea snail (*Rapana venosa* Val. 1946)). *Journal of Fisheries* 1988; 5(19-20): 89-99.
- Düzgüneş E., Feyzioğlu AM. Trabzon sahil şeridinde yaşayan deniz salyangozunun *Rapana thomasi* (Gross. 1861) populasyon ve büyüme özelliklerinin araştırılması. (Investigation of population and growth characteristics of the sea snail *Rapana thomasi* (Gross. 1861) living in Trabzon coastline). *Journal of Ege University Faculty of Science* 1994; 16B(1): 1579-1592.
- Eastwood S., Couture P. Seasonal variations in condition and liver metal concentrations of yellow perch (*Perca flavescens*) from a metal-contaminated environment. *Aquatic Toxicology* 2002; 58(1-2): 43-56.
- Erik G. Whelk fishing (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) by using pots in the Middle Black Sea, Juvenile culturing and determining some of their biological characteristics. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Sinop, Türkiye, 2011.
- Erzini K. An empirical study of variability in length-at age of marine fishes. *Journal of Applied Ichthyology* 1994; 10: 17-41.
- EU. Directive 2001/22/EC, Commission Regulation as regards heavy metals. Official journal of the European Communities No: 466, 2001.
- FAO. The Food and Agriculture Organization. Overview of food fraud in the fisheries sector by Alan Reily. In: Fisheries and Aquaculture Circular, No.1165. Rome, 2018.
- Göksu MZL., Akar M., Çevik F., Findik Ö. Bioaccumulation of some heavy metals (Cd, Fe, Zn, Cu) in two bivalvia species (*Pinctada radiata* Leach, 1814 and *Brachidontes pharaonis* Fischer, 1870). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2005; 29(1): 89-93.
- Harding JM., Mann R. Observations on the biology of the veneid rapa whelk, *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Chesapeake Bay. *Journal of Shellfish Research* 1999; 18: 9-17.
- Harding JM. Predation by blue crabs, *Callinectes sapidus*, on rapa whelks, *Rapana venosa*: possible natural controls for an invasive species? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2003; 297: 161-177.
- Harding JM., Kingsley-Smith P., Savini D., Mann R. Comparison of predation signatures left by Atlantic oyster drills (*Urosalpinx cinerea* Say, Muricidae) and veined rapa whelks (*Rapana venosa*

- Valenciennes, Muricidae) in bivalve prey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2007; 352: 1-11.
- Harding JM., Mann R., Kilduff CW. Influence of environmental factors and female size on reproductive output in an invasive temperate marine gastropod *Rapana venosa* (Muricidae). *Marine Biology* 2008; 155: 571-581.
- Karayücel S. Biology of the sea snail (*Rapana venosa* Valenciennes, 1864) the time of the spawn and calculation of the productivity of spawn in Sinop area. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 50, Samsun, Türkiye, 1992.
- Kasapoğlu N. Population structure and shell dimension of the invasive veined whelk (*Rapana venosa*). *Journal of Fisheries* 2021; 9(1): 91205-91205.
- Koral S., Kıran A. Seasonal variation of meat yield and nutritional composition of sea snail (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) captured from Eastern Black Sea region. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2017; 34(1): 47-56.
- Kos'yan AR. Comparative analysis of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) from different biotopes of the Black Sea based on its morphological characteristics. *Oceanology* 2013; 53(1): 47-53.
- Massadeh AM., Alomary AA., Mir S., Momani FA., Haddad HI., Hadad YA. Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES. *Environmental Science and Pollution Research* 2016; 23(13): 13424-13431.
- Micu S., Comanescu G., Kelemen B. The imposex status in *Rapana venosa* population from Agigea littoral. *Analele Stiintifice ale Universitatii., AL.I. Cuza Iași, s. Biologie animal* 2009; 55: 133-137.
- Mol S., Çakalp Z., Çırpıcı E. Su ürünlerinde iz element birikimi ve insan sağlığına etkileri. (Trace element accumulation in fisheries and effects on human health). *Harvest Food Journal* 2005; 244-244.
- Molluscabase Eds. *MolluscaBase*, Accessed at <http://www.molluscabase.org> on 2021-07-18.
- Pastorino G., Penchaszadeh PE., Schejter L., Bremec C. *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Mollusca: Muricidae): A new gastropod in south Atlantic waters. *Journal of Shellfish Research* 2000; 19: 897-899.
- Pauly D. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Vol. 8. *World Fish*; 1984.
- Prodanov K., Konsulova T., Tadorova V. Growth rate of *Rapana thomasiana* (Gastropoda) along Bulgarian Black Sea coast. XXXIV Congress of CIESM, 1995, Malta.
- Ricker WE. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 1975; 191: 203-233.
- Sağlam EH. Bio-ecology of the whelk *Rapana thomasiana* Crosse, 1861 in the Eastern Black Sea Region. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:90, Trabzon, Türkiye, 2003.
- Sağlam H., Kutlu S., Dağtekin M., Başçınar S., Şahin A., Selen H., Düzgünes E. Population biology of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Neogastropoda) in the southeastern Black Sea of Turkey. *Cah. Biol. Mar* 2015; 56(4): 363-368.

- Sağlam NE., Sağlam C., Sağlam YD. Determination of some population parameters of the veined rapa whelk (*Rapana venosa*) in the Central Black Sea. Journal of the Marine Biological association of the United Kingdom 2015; 95(1): 123-129.
- Salánki J., Farkas A., Kamardina T., Rózsa KS. Molluscs in biological monitoring of water quality. Toxicology Letters 2003; 140: 403-410.
- Savini D. Harding JM., Mann RL. Rapa whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) predation rates on hard clams *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758). Journal of Shellfish Research 2002; 21: 777-779.
- Savini D., Occhipinti Ambrogi A. Consumption rates and prey preference of the invasive gastropod *Rapana venosa* in the northern Adriatic Sea. Helgoland Marine Research 2006; 60: 153-159.
- Scarabino F., Menafra R., Etchegaray P. Presence of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Muricidae) in the Río de la Plata. Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay (Actas de las V Jornadas de Zoología del Uruguay) 1999; 11: 40.
- Sokal RR., Rohlf FJ. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research, 3th ed. New York: WH Freeman and Co; 1995.
- Su GLS., Ramos GB., Barcelon ECB., Federo RMC., Lilibeth M., Su LS., Beltran-Benjamin K. Lead bioaccumulation and the imposex effect of *Volema (Pugilina) cochlidium* in Bacoor Bay, Philippines. Journal of Fisheries Sciences 2015; 9(3): 001-004.
- TUIK, Fishery statistics. Ankara: Turkish Statistical Institute, Accessed on 2021-11-08.
- Wagner A., Boman J. Biomonitoring of trace elements in Vietnamese freshwater mussels. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 2004; 59(8): 1125-1132.
- Watabe S., Iwasaki K., Funabara D., Hirayama Y., Nakaya M., Kikuchi K. Complete amino acid sequence of *Mytilus* anterior byssus retractor paramyosin and its putative phosphorylation site. Journal of Experimental Zoology 2000; 286(1): 24-35.
- Wu Y. Distribution and shell height-weight relation of *Rapana venosa* Valenciennes in the Laizhou Bay. Marine Science (Haiyang Kexue) 1988; 6: 39-40.
- Yılmaz AB. Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) in tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from İskenderun Bay, Turkey. Environmental research 2003; 92(3): 277-281.
- Yücel Ş., Baki B., Dilek K. A study on the biometrics of rapa whelk (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846). Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences 2013; 3(1): 31-37.
- Zhou JL., Salvador SM., Liu YP., Sequeira M. Heavy metals in the tissues of common dolphins (*Delphinus delphis*) stranded on the Portuguese coast. Science of the Total Environment 2001; 273(1-3): 61-76.

Dört Nokta Eğme Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarında İç Kademenin Bağlantı Hasar Yüküne Etkisi: Deneysel ve Sayısal Analiz

Ahmet ÇALIK^{1,2*}, Salih AKPINAR³

¹Yükseköğretim Kurulu, Üniversiteler Mh., 1600. Cad. No:10, 06800 Çankaya, Ankara

²Mersin Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 33343 Yenişehir, Mersin

³Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum

^{1,2}<https://orcid.org/0000-0001-7425-4546>

³<https://orcid.org/0000-0003-3247-991X>

*Sorumlu yazar: ac@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.01.2022

Kabul tarihi: 04.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Yapıştırma bağlantı

Bağlantı tasarımı

İç kademeli bindirme bağlantı

Eğilme momenti

ÖZ

Havacılık, uzay ve otomotiv sektörlerinde kullanılan kompozit veya farklı tür malzemelerin birleştirilmesinde büyük avantajlarından dolayı sıklıkla tercih edilen birleştirme yöntemlerinden biri yapıştırıcıyla birleştirme yöntemidir. Yapıştırıcıyla birleştirme yönteminde sıklıkla kullanılan bağlantı tipi ise tek tesirli bindirme bağlantı tipidir. Tek tesirli bindirme bağlantısının hasar yükünü artırmak için kullanılan yöntemlerden biri bindirme bölgesinin geometrik yapısının değiştirilmesidir. Sunulan çalışmada farklı iç kademe uzunluklarına sahip tek tesirli bindirme bağlantıların dört nokta eğme yükü altında mekanik özellikleri deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada yapıştırılan malzeme olarak sıklıkla havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan AA2024-T3 alüminyum alaşımı ve yapıştırıcı olarak ise çift bileşenli DP460 yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Sonuç olarak, tek tesirli bindirme bağlantıların bindirme bölgesinde iç kademe yapılması bağlantıda oluşan çatlağın ilerlemesini engellediğinden dolayı, bağlantının eğme yükünü artırmaktadır. Ayrıca bağlantının eğme yükündeki artış oranı bindirme bölgesinin uç kısımlarındaki iç kademe uzunluğuna göre değişmektedir. Sonlu elemanlar analiz çalışmasında yapıştırıcı tabakası cohesive zone model (CZM) ile modellenmesi, deneysel ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarının birbiriyle oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

The Effect of Internal Step on Joint Damage Load in Adhesive Joints Subject to Four Point Bending Load: Experimental and Numerical Analysis

Research Article

Article History:

Received: 17.01.2022

Accepted: 04.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Adhesively bonded joint

Joint design

Internal step-lap joint

Bending moment

ABSTRACT

Adhesive bonding is one of the most preferred joining methods due to its great advantages in joining composite or different types of materials used in the aerospace and automotive industries. The type of joint that is frequently used in the adhesive bonding method is the single-acting overlap joint type. One of the methods used to increase the damage load of the single-acting lap joint is to change the geometric structure of the bond lap region. The mechanical characteristics of single-step lap joints with varied internal step lengths were studied experimentally and numerically under four-point bending force in this work. In the experimental study, AA2024-T3 aluminum alloy, which is often used in the aerospace and automotive industries, and double-component DP460 structural adhesive was used as the adhesive. As a result, internal staggering of single-step lap joints increases the bending load of the joint, since it prevents the propagation of crack formed in the joint. In addition, the rate of increase in the bending load of the connection varies according to the length of the inner stage at the ends of the overlap zone. In the numerical analysis study, it was concluded that the adhesive layer was

modeled with the cohesive zone model (CZM), and the experimental and finite element analysis data were quite compatible with each other.

To Cite: Çalık A., Akpınar S. Dört Nokta Eğme Yüküne Maruz Yapıştırma Bağlantılarında İç Kademenin Bağlantı Hasar Yüküne Etkisi: Deneysel ve Sayısal Analiz. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1128-1140.

Giriş

Endüstride yapışkanlı bağlantıların kullanımı havacılık, otomotiv endüstrisi ve takım tezgahları modüllerinin geliştirilmesi için büyük ilgi görmektedir (Zielecki ve ark. 2017). Zaman ve maliyet tasarrufu, yorulma ve yüksek korozyon direnci, çatlak geciktirme ve iyi sönümleme özellikleri bu bağlantıların başlıca avantajlarıdır (Mubashar ve ark. 2011; Sülü, 2018; Bayramoğlu ve ark., 2021).

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir bağlantının yapıştırılan bölge geometrisini değiştirmek, her zaman stres ve gerinim dağılımında değişikliklere neden olacaktır. Bu farklılıkların ayrıca stres konsantrasyonları ve dolayısıyla bağlantının yük kapasitesi ve uzun vadeli performansı üzerinde tesirli bir etkisi vardır. Yapıştırıcıyla birleştirmede, yük, üst üste binme bölgesindeki yapışkan tabaka aracılığıyla bir yapıştırılandan diğerine düzgün bir şekilde iletilir, yani yapıştırıcı, yük aktarımı için bir ortam görevi görür.

Tek tesirli bindirme bağlantılar, yıllar içinde en yaygın olarak kullanılan yapışkanlı bağlantılardır ve önemli araştırmaların konusu olmuştur (Beigrezaee ve ark., 2020). Tek tesirli bindirme bağlantılarda nispeten düşük elastisite modüllü yapıştırıcılar kullanıldığında bile, stres, yapışma yüzeyi boyunca üniform olmayan bir şekilde dağılmaktadır. Tek tesirli bindirme bağlantıdaki yükler ortak doğrusal değildir, bu da bağlantının dönmesine neden olan bir bükülme momenti üretir. Bu moment yapışkan tabakayı kesme ve soyulma gerilimlerine maruz bırakır. Yapıştırılan levhalar benzer şekilde aynı zamanda çekme ve bükülmeye maruz kalırlar. Özellikle yüksek gerilimli bölgelerde hem yapıştırıcının hem de yapıştırılan maddenin deformasyonunun plastik hale gelmesi oldukça sık rastlanılır.

Yapıştırıcıda oluşan soyulma gerilmeleri bindirme bölgesinin uçlarında çatlağa neden olup, bu çatlağın ani bir şekilde merkeze doğru ilerlemesiyle hasar oluşmaktadır. Yapıştırıcı bölgesinde oluşan bu olayı nümerik analizde en iyi simule etmek için yapıştırıcı bölgesinin CZM ile modellenmesi gerekmektedir (Çalık ve Akpınar, 2019).

Grant ve ark.(2009) yaptığı çalışmada bindirme bağlantıları çekme, dört nokta eğilme (saf eğilme) ve üç nokta eğilme (makasla eğilme) altında test edilmiştir. Örtüşme uzunluğu, yapışma yüzeyi kalınlığı ve bindirme bölgesinin kenar geometrisi gibi çeşitli parametreler değiştirildiğinde bağlantı mukavemeti deneysel ve analitik olarak incelenmiştir.

Özel ve ark.(2003) yaptığı çalışmada dört nokta eğme yükünde yapıştırıcıyla birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantısına doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi uygulandı. Birleşim konfigürasyonu için çok farklı mekanik davranışlara sahip sert ve esnek iki yapıştırıcı ve dört farklı kalınlıkta yapıştırılan sert çelik analiz edilmiştir. Sonuç olarak yapıştırıcı kalınlığının derz performansında önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir; sert yapıştırıcı, kalın yapıştırıcılar kullanıldığında daha güçlü

bağlantı mukavemeti sağlarken, ince yapıştırıcılar kullanıldığında esnek yapıştırıcı için durum tam tersiydi.

Temiz ve ark.(2015) yaptığı çalışmada, eğilmeye maruz gömülü yama ile çift bantlı birleşimdeki yapıştırıcının davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Akpınar ve ark.(2013) yaptığı çalışmada, üst yapışma ve alt yapışma genişliklerinin aynı olmadığı, eğilme momenti altında yapıştırma ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantının mekanik davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

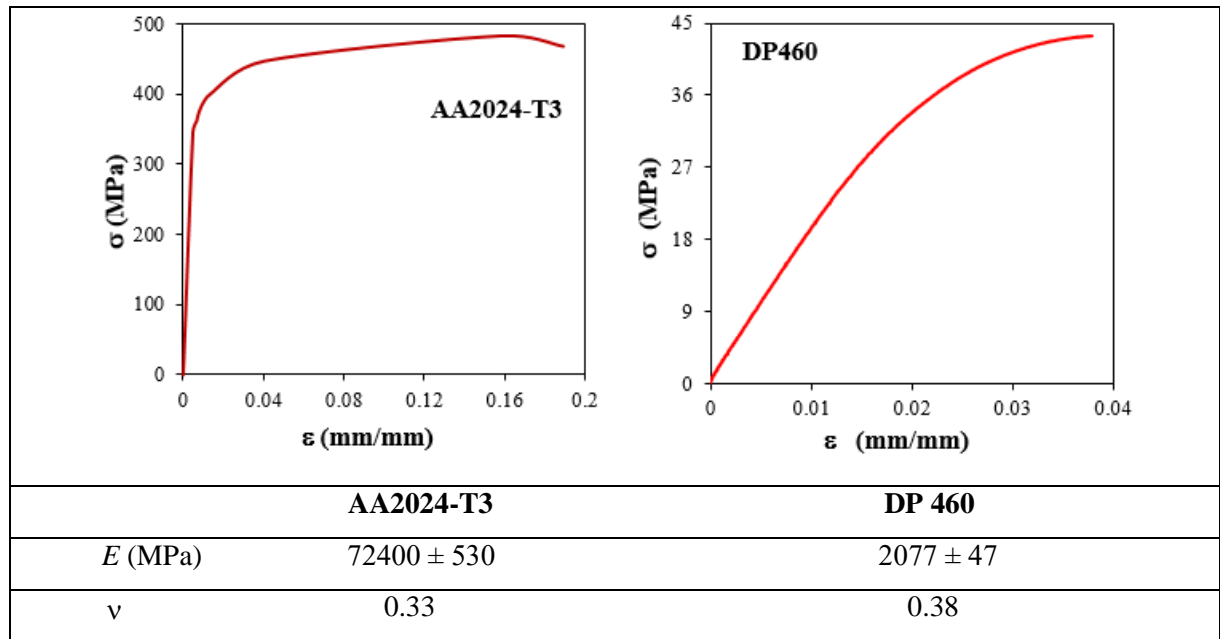
Bu çalışmanın temel amacı, farklı iç kademe uzunluklarına sahip tek tesirli bindirme bağlantıların dört nokta eğme yükü altında mekanik özellikleri deneysel ve nümerik olarak incelemektir. Deneysel çalışmaların sonuçlarının doğruluğunun tespiti için cohesive zone model (CZM) kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyel Yöntem ve Sonlu Elemanlar Analizi

Bu araştırmadaki yapıştırılan malzeme olarak, alüminyum alaşımı olan AA2024-T3 kullanılmıştır. AA2024-T3 alüminyum alaşımı işlenebilirliği, hafifliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ve mükemmel korozyon direnci nedeniyle otomotiv ve havacılık sektörlerinde yaygın kullanım alanına sahiptir.

Deneysel çalışmada yapıştırıcı olarak çift bileşenli sıvı epoksi (DP460) kullanılmıştır. 3MTM DP460, 2:1 hacim oranında epoksi (B) ve hızlandırıcı (A) kombinasyonundan meydana gelen sıvı bir yapıştırıcıdır. Metal, porselen, cam ve çeşitli kompozit malzemeleri birbirine bağlamak için kullanılır. Yapıştırılan malzemenin ve yapıştırıcının malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir (Gavali ve ark., 2021).

Tablo 1. Çalışmadaki yapıştırıcının mekanik özellikleri (Gavali ve ark., 2021)

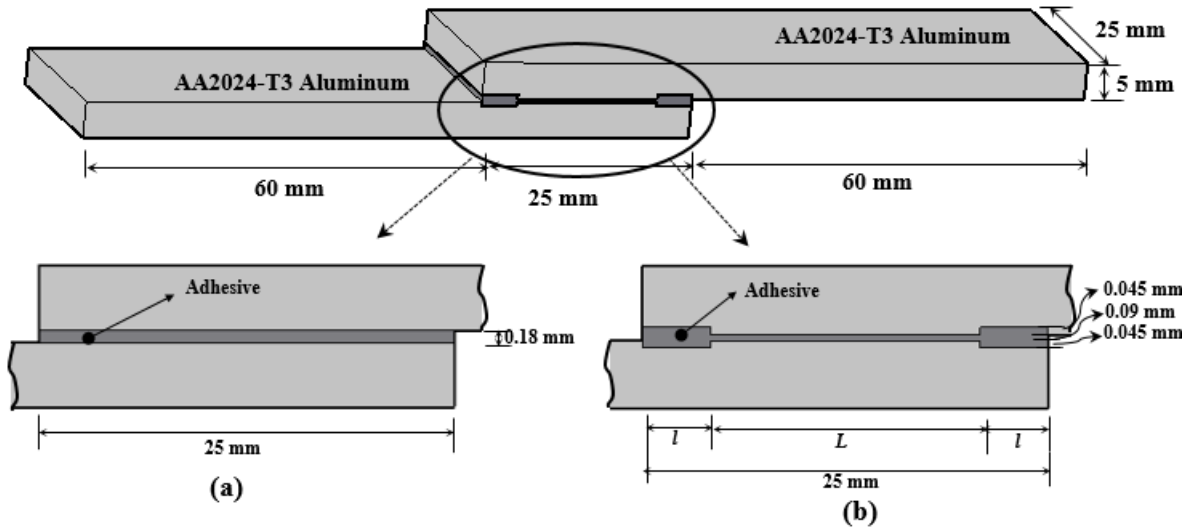


E: Young modülü; ν : Poisson oranı; σ_t : Nihai çekme mukavemeti; ϵ_t : Nihai çekme gerilmesi

Sunulan çalışmada; yapıştırılan malzemenin kalınlığı, genişliği ve bindirme uzunluğu aynı olan tek tesirli bindirme bağlantı (SLJ) ve beş farklı içi kademe uzunluğuna sahip iç kademeli bindirme bağlantı (ISLJ)'in dört nokta eğme yükü altında mekanik davranışları incelenmiştir. Bu numunelere ait deneysel ve geometrik parametreler Şekil 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantılar için deneysel parametreler

Numune	Bağlantı Tipi	Uzunluklar l - L - l (mm)
Tek Tesirli Bindirme Bağlantı (Single Lap Joint)	SLJ	25
İç Kademeli Bindirme Bağlantı (Internal -Step Lap Joint)	ISLJ-21	2-21-2
İç Kademeli Bindirme Bağlantı (Internal -Step Lap Joint)	ISLJ-17	4-17-4
İç Kademeli Bindirme Bağlantı (Internal -Step Lap Joint)	ISLJ-13	6-13-6
İç Kademeli Bindirme Bağlantı (Internal -Step Lap Joint)	ISLJ-9	8-9-8
İç Kademeli Bindirme Bağlantı (Internal -Step Lap Joint)	ISLJ-5	10-5-10

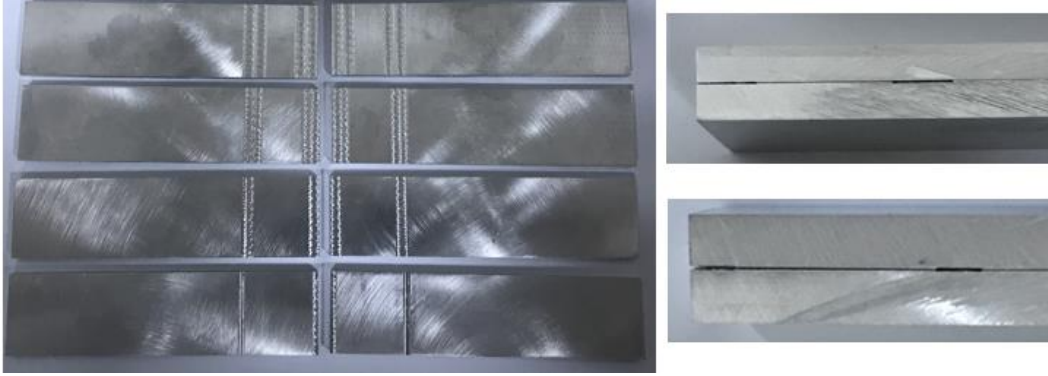


Şekil 1. Çalışmadaki bağlantı geometrisi, a) tek tesirli bindirme bağlantı, b) iç kademeli bindirme bağlantı.

Bağlantı numunelerinde kullanılmak üzere 4.85 mm kalınlığında AA2024-T3 alüminyum alaşım malzemesi 25 x 112.5 mm boyutlarında hassas testere ile kesildi (Şekil 1). Üç kademeli bindirme bağlantılarında kullanılan malzemelerin kademe açma işlemi ise beş eksenli CNC freze tezgahında yapıldı. Daha sonra yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların performansı yüzey hazırlama işlemlerine bağlı olduğundan yapıştırılacak malzemelere yüzey hazırlama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı, istenilen geometrik boyutlara getirilmiş numunelerde oluşan çapakların ve numune üzerindeki yağ, gres, kir gibi atıkların temizlenmesi için numuneler 400 grade SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra 400 grade SiC zımpara işleminde numuneler üzerinde oluşan zımpara çiziklerin yok edilmesi için numuneler 1000 grade SiC zımpara ile zımparalanmış ve pürüzsüz yüzey

elde edilmiştir. Zımpara işlemi bittikten sonra numuneler toz deterjan ile yıkandıktan sonra numuneler 10 dakika asetonda bekletilmiştir.

Yapıştırılmadan önce asetonda ekstrakte edilen numune parçaları 60°C etüvde kurutularak yüzey hazırlama işlemleri yapılmıştır (Şekil 2).

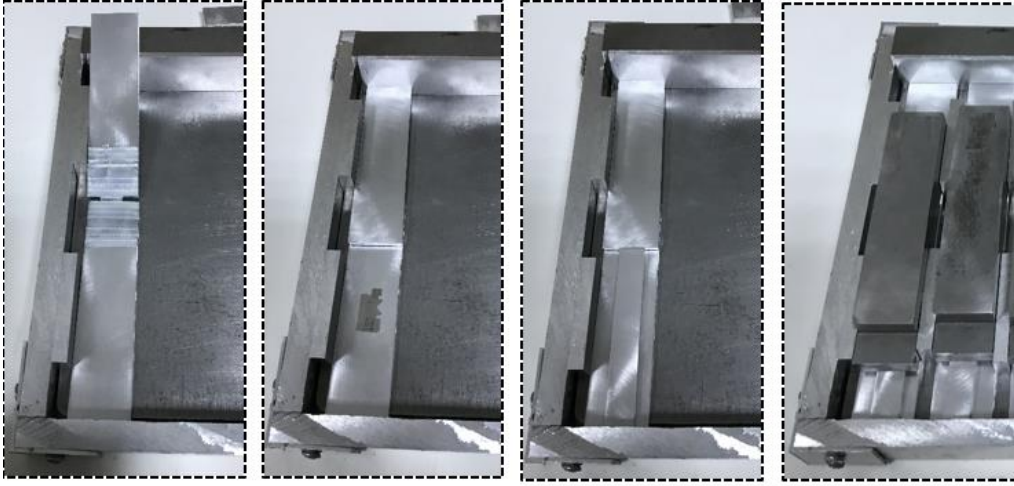


Şekil 2. Yüzey hazırlama işlemi uygulandıktan sonra yapıştırılan malzemeler

Yapıştırıcı ile birleştirilmiş derz numuneleri elde etmek için yapıştırıcı uygulanmıştır. Numuneler daha sonra Şek. 3'te sergilenen kalıba yerleştirildi. DP460 sıvı yapıştırıcı bindirme bölgelerine uygulanmış ve bir mastar yardımıyla yapıştırılacak yüzeylere yayılmıştır (Şekil 3). Tek tesirli bindirme bağlantılarda yapıştırıcı kalınlığının 0.18 mm olması için bağlantının her iki ucuna 0.18 mm kalınlığında metal parçalar konulmuştur. Bu parçalar yapışma kalınlığını yapışma bölgesi boyunca sabit kalmasını temin etmesi için kullanılmıştır.

Düzensüz yapışma kalınlığını sağlama, yapışma kalınlığının ayarlanabilmesi, kürlenme için gerekli düzensüz basınç uygulanabilmesi ve yapıştırılan malzemelerde kayma olmaması için Şekil 3'te fotoğrafları sunulan yapışma bağlantıları için özel tasarlanmış ve üretilmiş kalıp kullanılmıştır.

Yapıştırıcı DP 460 için sıcaklık, basınç ve süreye bağlı olarak bazı farklı kürlenme koşulları bulunurken, bu çalışmada Şekil 3'de gösterildiği gibi kalıp içerisine yerleştirilmiş yapıştırma bağlantılarında kürlenme 0,15 MPa basınç altında 70 °C'de 120 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir (Gavali ve ark.,2021). Numunelere uygulanan kürlenme şartı sağlandıktan sonra numuneler ortam şartında soğumaya bırakılmıştır. Kalıp içerisinde oda sıcaklığına erişen numuneler kalıp içerisinden çıkarılarak kürlenme esnasında dışarı taşan fazla yapıştırıcılar keskin bir bıçak yardımıyla temizlenmiş ve böylece yapıştırma işlemi tamamlanmıştır. Her bir bağlantı çeşidi için 3 olmak üzere toplamda 18 numune üretilmiştir.

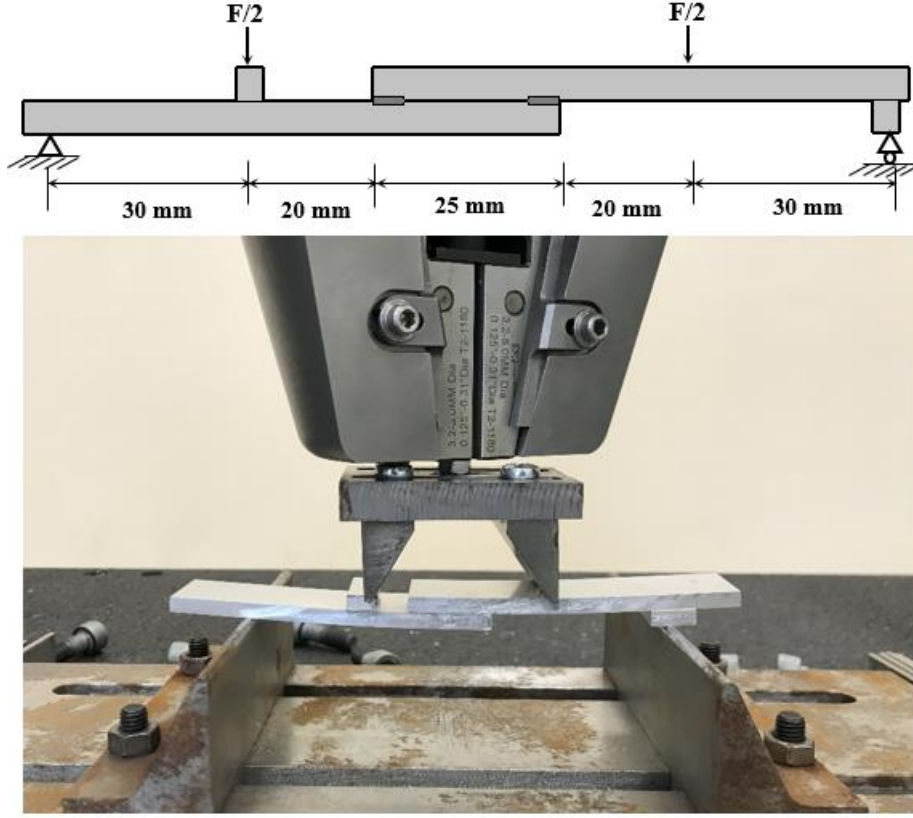


Şekil 3. Numunelerin ortak imalat kalıbı.

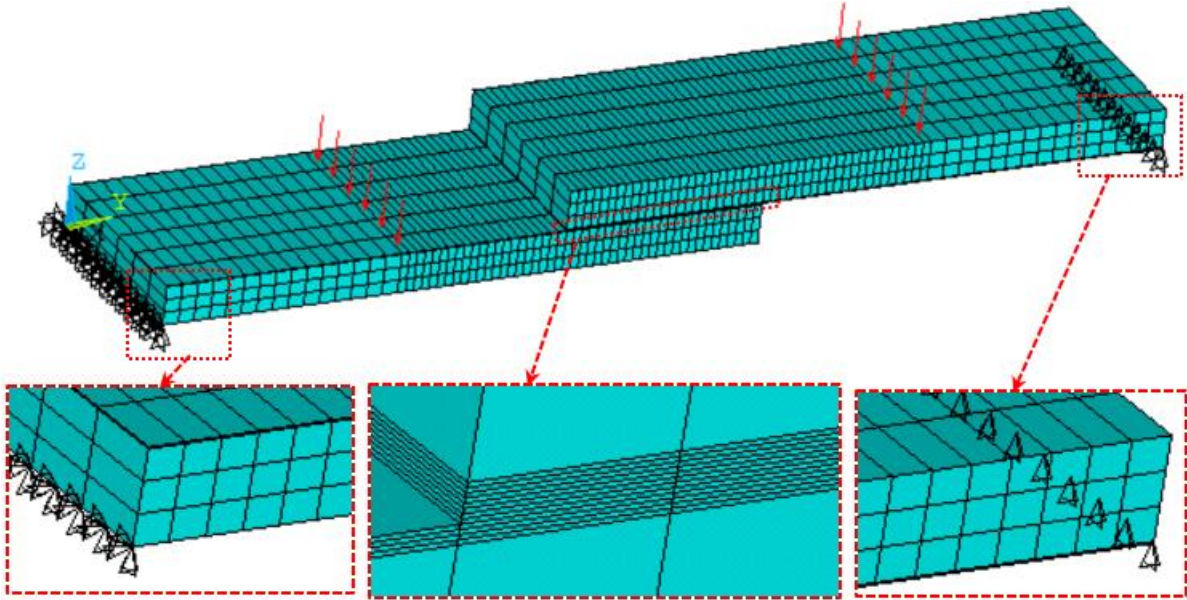
Statik dört nokta eğilme testleri, Instron-5982-100 kN (ABD) üniversal çekme test cihazı kullanılarak 21 °C ve %22 nemde 5 mm/dk hızla gerçekleştirilmiştir. Üç tip numune (SLJ ve ISLJ) için sınır koşulları ve uygulanan kuvvet Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Testten önce, her örneğin örtüşme uzunluğu ve yapışkan tabaka kalınlığı ölçülmüş ve belgelenmiştir. Dört nokta eğme testi sırasında derzler dikkatlice izlendi ve numunelerin taşıyabileceği maksimum kuvvet kaydedilmiştir.

Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan numuneler ANSYS 18 paket programı ile 3 boyutlu modellenmiştir (Şekil 5). Bağlantıların sayısal analizlerinde yapıştırılan malzeme (AA2024-T3) için lineer olmayan malzeme davranışı göz önüne alınarak Multilinear Isotropic Hardening (MISO) malzeme model kullanıldı. Yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantılarda bindirme bölgesinin uçlarında soyulma gerilmeleri, orta kısımlarda ise kayma gerilmeleri daha baskın oluşmaktadır. Nümerik analizde deneysel olayı daha iyi simüle etmek için yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların nümerik analizlerinde yapıştırıcı bölgesinde malzeme modeli olarak Cohesive Zone Model (CZM) seçildi.

Sonlu elemanlar analizlerinde, Deneysel çalışmadaki aynı numune boyutları, aynı yükler ve aynı sınır koşulları kullanılmıştır. Üç boyutlu analizde, yapıştırılan malzeme ve yapışkanın Solid 186 sonlu elemanları kullanılarak modellenmiştir. Solid 186 sonlu elemanı üç serbestlik derecesi ve 20 düğüm sayısına sahiptir. Gerilme dağılımının kritik olduğu bölgelerde (bindirme bölgesi ve bindirme bölgesine yakın yerlerde) daha küçük mesh kullanılmıştır (Şekil 5). Nümerik modelde farklı mesh yoğunluklarında denemeler yapıldı ve gerilme analizleri göz önüne alınarak sayısal çözümler için gereken süreyi azaltmak için ideal mesh boyutu seçildi.



Şekil 4. Deneylerde kullanılan sınır koşulları ve yükleme



Şekil 5. ISLJ'in sonlu eleman modeli

CZM, gerilmeler ve bağıl yerdeğiştirmeler (T_n çekme gerilimi, T_t kayma gerilimi) arasındaki bir ilişkiye dayanır. ANSYS 18 sonlu elemanlar yazılım paketinde CZM ile analizin gerçekleştirilebilmesi için T_n^{max} (σ_n^{max}), G_{IC} , T_t^{max} (τ_t^{max}) ve G_{IIC} parametrelerinin bilinmesi gereklidir. Kanar ve ark.(2018) ve Kazaz ve ark.(2020), bu değerleri Mod I ve Mod II deneyleri yaparak elde etmişler ve Tablo 3'te verilmiştir. Çift Konsol Kirişli bağlantılarla G_{IC} (çekme kritik gerinim enerjisi salınım

oranı) değerleri elde edilirken, G_{IIC} (kesme kritik gerinim enerjisi salınım oranı) değerleri Kalın Yapışma Kesme Testi bağlantılarıyla elde edildi. Mevcut çalışmada bu değerler kullanılmıştır.

Tablo 3. CZM modellemesi için DP460 yapıştırıcının özellikleri (Kantar ve ark., 2018; Kazaz ve ark., 2020)

σ_n^{max} (MPa)	G_{IC} (N/mm)	τ_t^{max} (MPa)	G_{IIC} (N/mm)
32.6	2.56	28.5	11.71

Bulgular ve Tartışma

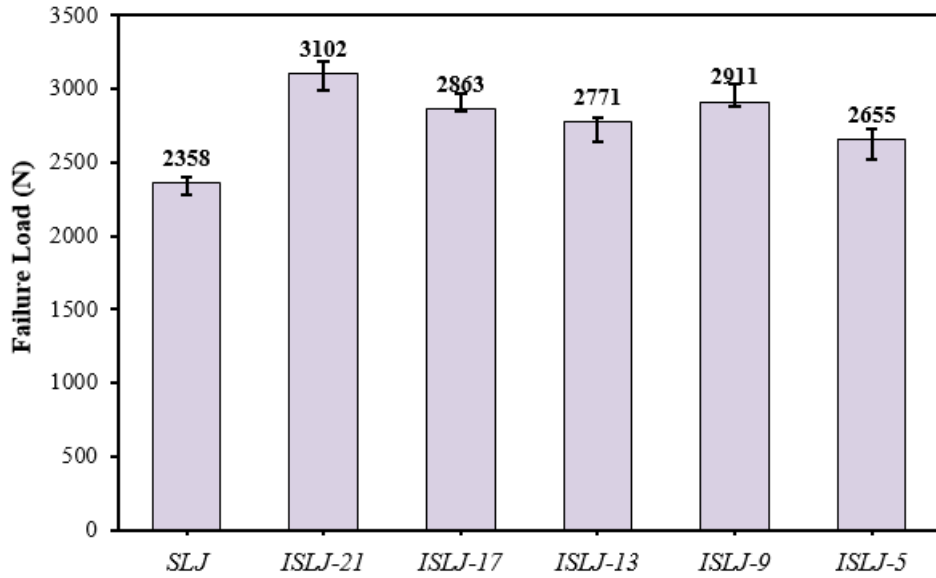
DeneySEL Sonuçlar

Yapıştırıcıyla birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantıları yüke maruz kaldığında, bindirme bölgesinin uçlarında soyulma gerilmeleri oluşur ve bu soyulma gerilmeleri bindirme bölgesinde çatlaklar oluşturur. Bu çatlakların bindirme bölgesi merkezine yaklaştıkça bağlantıda hasar oluşturur.

Akpınar ve Durmuş (Akpınar, 2014; Durmuş ve Akpınar, 2020) tarafından yapılan çalışmalarda, bindirme bölgesinde kademe yapılması çatlağın ani ilerlemesini engellediği ve bu durum bağlantının hasar yükünü artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalar göz önüne alınarak, sunulan çalışmada tek tesirli bindirme bağlantısına iç kademe yapılarak elde edilen iç kademeli bağlantı tipinin dört nokta eğme yükü altındaki performansı incelenmiştir. Dört nokta eğme yükü uygulanmasındaki amaç bindirme bölgesinin tamamı eğme momentine maruz kalmasını sağlamaktır.

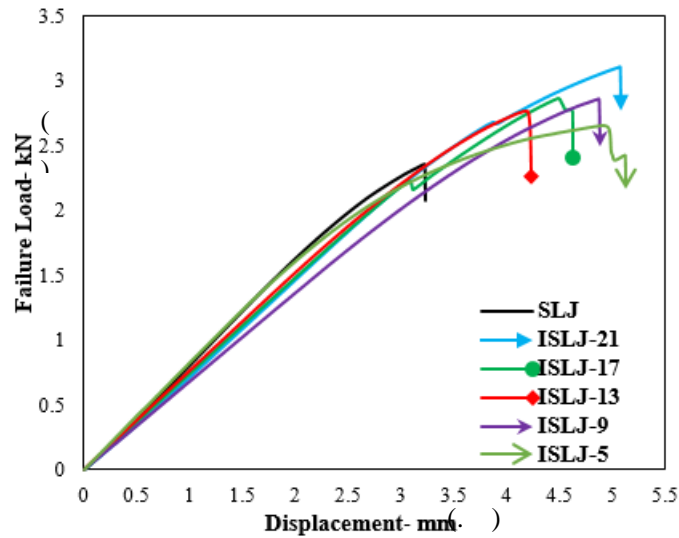
Şekil 6'da verilen hasar yükleri her bir bağlantı parametresinden üçer numune test edilerek elde edilen ortalama hasar yükleri olup, standart sapmaları yaklaşık %1 ile %3 arasındadır. SLJ tipinin hasar yüküne göre ISLJ-21 bağlantı tipi yaklaşık %31 daha fazla yük taşımıştır. Ancak iç kademe uzunluğu 21 mm'den 17 mm'ye indirildiğinde, hasar yükündeki artış oranı %31'den %21'inde olup, iç kademe uzunluğu 17 mm'den 13 mm'ye indirildiğinde ise hasar yükündeki artış oranı %21'den %18'inde. İç kademe uzunluğu 13 mm'den 9 mm'ye indirildiğinde hasar yükündeki artış oranı %18'den %23 çıkarken, iç kademe uzunluğu 9 mm'den 5 mm'ye indirildiğinde hasar yükündeki artış oranı %23'den %13'inde.

SLJ tipine göre tüm ISLJ tiplerinin hasar yüklerinde artış olduğu ve bu artışın bindirme bölgesinde iç kademe yapılarak çatlağın ani ilerlemesinin engellenmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ancak ISLJ-21 tiplerinin hasar yükündeki ani artışın nedeni bindirme bölgesinin her iki ucunun 2 mm'lik kısmında yapıştırıcı kalınlığının 0.18 mm ve daha sonraki kısımlarında ise yapıştırıcı kalınlığının 0.09 mm olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 6. Deneysel çalışmadan elde edilen yapıştırıcıyla birleştirilmiş iç kademli bindirme bağlantıların (ISLJ) ortalama maksimum kopma yükleri

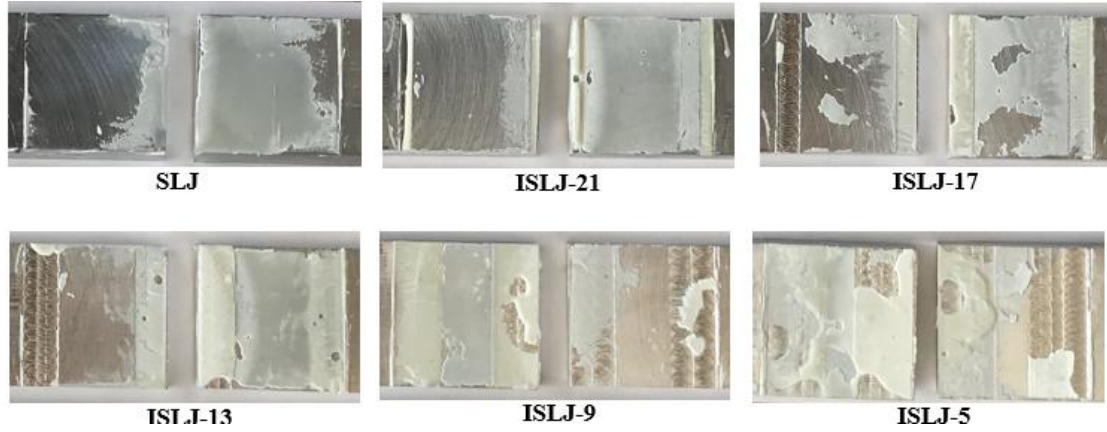
Şekil 7’de ISLJ tipleri için verilen kuvvet yerdeğiştirme eğrileri incelendiğinde, single lap joint tiplerinin bindirme bölgesine iç kademe yapılması bağlantıların hem yük taşıma kapasitesini hem de yer değiştirme kapasitesini önemli derecede artırmaktadır. Ayrıca, kuvvet-yer değiştirme eğrisinin altındaki alan, bağlantı tarafından emilen enerjiyi temsil ettiğinden, Grafiğe bakarak ISLJ tipleri tarafından emilen enerji, SLJ tipleri tarafından emilen enerjiden çok daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 7. DP460 yapıştırıcı kullanılarak yapılan ISLJ kuvvet-yer değiştirme eğrileri.

Yapıştırıcıyla birleştirilmiş tüm bağlantı tiplerinde ortaya çıkan kırılma modları tespit edilmiş ve Şekil 8’de verilmiştir. Deformasyon türleri ISO 10365 (ISO 10365 1992)’da tanımlanmıştır. Bu tanımlar dikkate alınarak mevcut çalışmadaki kırılmalar gözlemlendiğinde, yapışkan tabakanın hem alt yapıştırmada hem de üst yapıştırmada mevcut olduğu tespit edilebilir. Bu nedenle hem alt yapıştırılan

hem de üst yapıştırılan yapıştırıcı tabakasının kalınlığı eşit olmadığında ortaya çıkan özel kohezyon kırılmasının (SKF) tüm derz tiplerinde meydana geldiği ifade edilebilir (Şekil 8).



Şekil 8. Bu araştırmada değerlendirilen numune yüzey hasarları

Ayrıca Şekil 8’de verilen bu hasar yüzeylerinden elde edilen en önemli sonuç, bindirme bölgesindeki iç kademenin her iki tarafında (bindirme bölgesinin her iki ucunda) yapıştırıcı kalması ve kalan bu yapıştırıcının hem üst yapıştırılan malzemenin ucunda hemde alt yapıştırılan malzemenin ucunda olmasıdır. Bu, hasara neden olan çatlakın bindirme bölgesinin her iki ucundan başladığını ve daha sonra iç aşamaya yaklaştıkça yön değiştirdiğini göstermektedir. Bunun sonucunda bağlantının hasar yükünde artış meydana gelir.

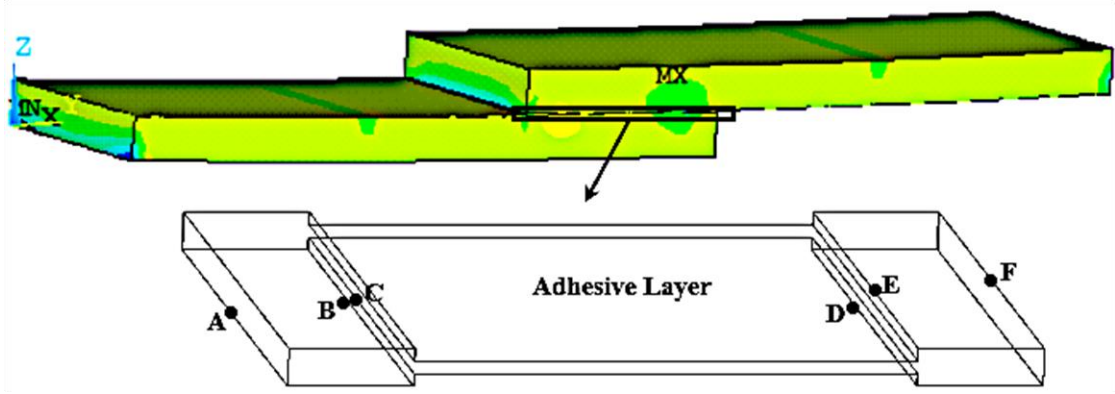
Sonlu elemanlar analiz sonuçları

Tablo 4’de verilen deneylerden ve nümerik analizden elde edilen hasar yükleri incelendiğinde, deneysel ve nümerik analiz sonuçlarının birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum yapıştırma bağlantılarının nümerik analizinde yapıştırıcı tabakasının cohesive zone model ile modellenmesinin doğruluğunu göstermektedir.

Tablo 4. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların sayısal ve deneysel ortalama kırılma yükleri

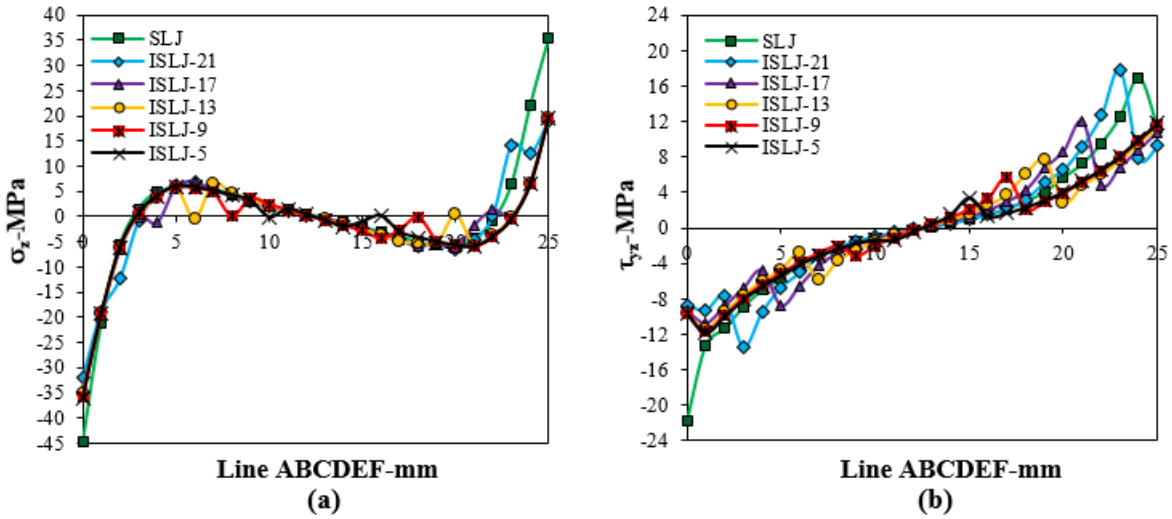
Bağlantı Tipi	Deneysel kopma yükü, F_{EXP} (N)	Sayısal kopma yükü, F_{FEA} (N)	F_{FEA}/F_{EXP}
SLJ	2358	2300	0,97
ISLJ-21	3102	3220	1,04
ISLJ-17	2863	2940	1,03
ISLJ-13	2771	2790	1,01
ISLJ-9	2911	2820	0,97
ISLJ-5	2655	2710	1,02

Sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışmanın sonuçları, kırılma için kritik yüzeyin ABCDEF çizgisi ile gösterilen arayüz olduğunu göstermektedir, bkz. Şekil 9. Aynı bağlama alanına sahip SLJ ve ISLJ tipleri için 1200 N (deneylerden elde edilen en küçük hasar yükünün yaklaşık yarısı olan yük) dört nokta eğilme yükü altında sayısal analizler yapılmıştır.



Şekil 9. Yapıştırıcı ile yapıştırılmış ISLJ numunelerinin kritik kırılma yüzeyleri

Şekil 10, SLJ ve ISLJ tipleri için ABCDEF hattı boyunca yapışkan tabaka üzerinde meydana gelen gerilme dağılımlarının, kırılmada diğer gerilmelerden daha etkili olan soyulma ve kesme (σ_z ve τ_{yz}), karşılaştırmasını göstermektedir. A noktasındaki ve B noktasındaki gerilim farkı sınır koşulu sebebiyledir (bağlantının bir ucu sabit destek ve diğer ucu hareketlidir). Şekil 10a'de verilen gerilme dağılımları incelendiğinde, SLJ tipinin bindirme bölgesine iç kademe yapılması yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımlarını önemli derecede azaltmaktadır. Bu azalma sonucunda bağlantının hasar yükü artacaktır.



Şekil 10. SLJ ve ISLJ tiplerinden elde edilen kritik çizgilerin karşılaştırılması, a) soyulma gerilimi (σ_y), b) kesme gerilimi (τ_{xy})

Diğer taraftan ISLJ tiplerinde bindirme bölgesinin uçlarında oluşan (F noktalarında) maksimum çeki karakterli gerilmeler gitgide azalarak iç kademenin başlangıcında (E noktalarında) minimum ve bası karakterli olduğu görülmektedir. İç kademenin başlangıcında (E noktaları) minimum ve bası karakterli olan gerilmeler kademe geçtiği aynı noktada tekrar çeki karakterli olmaktadır. Bu geçiş noktalarındaki çeki ve bası gerilmeleri arasındaki farklar, binme bölgesindeki iç basamak uzunluğunun azaltılması ile azalmaktadır.

Ayrıca, Şekil 10b’de verilen kayma gerilme (τ_{xy}) dağılımları incelendiğinde, bindirme bölgesinde iç kademe yapılması A ve F noktalarında oluşan maksimum kayma gerilme değerini azaltmaktadır. İç kademedeki dolaylı kademe başlangıcında oluşan kayma gerilmelerindeki ani artma ve azalma düzensizliği, iç kademe uzunluğunun azalmasıyla minimum olduğu görülmektedir.

Sonuçlar

Sunulan çalışmada farklı iç kademe uzunluklarına sahip tek tesirli bindirme bağlantılarının dört nokta eğme yükü altında mekanik özellikleri deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Tek tesirli bindirme bağlantılarının bindirme bölgesinde iç kademe yapılması bağlantıda oluşan çatlağın ilerlemesini engellediğinden dolayı, bağlantının eğme yükünü artırmaktadır.
- Bağlantının eğme yükündeki artış oranı bindirme bölgesinin uç kısımlarındaki iç kademe uzunluğuna göre değişmektedir.
- ISLJ tipleri tarafından emilen enerji, SLJ tipleri tarafından emilen enerjiden çok daha yüksektir.
- SLJ tipinin bindirme bölgesine iç kademe yapılması yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımlarını önemli derecede azaltmaktadır. Bu azalma bağlantının hasar yükünün artması anlamına gelmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

Yazar Katkısı

Salih Akpınar çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, verinin dönüştürülmesi, uygun yöntemlerle analizi, sonuçların yorumlanması ve verinin toplanması aşamalarında, Ahmet Çalık çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi ve sonuçların yorumlanması aşamalarında katkı sağlamışlardır.

Kaynaklar

- Akpınar S. The strength of the adhesively bonded step-lap joints for different step numbers. Composites Part B: Engineering 2014; 67: 170–178.
- Akpınar S., Doru MO., Özel A., Aydın MD., Jahanpasand HG. The effect of the spew fillet on an adhesively bonded single-lap joint subjected to bending moment. Composites Part B: Engineering 2013; 55: 55–64.

- Bayramoglu S., Akpınar S., Çalık A. Numerical analysis of elasto-plastic adhesively single step lap joints with cohesive zone models and its experimental verification. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2021; 35(2): 641–649.
- Beigrezaee MJ., Ayatollahi MR., Bahrami B., da Silva LFM. A new geometry for improving the strength of single lap joints using adherend notching technique. *The Journal of Adhesion* 2020; 97(11): 1-20.
- Çalık A., Akpınar S. Effect of extensometer usage on obtaining the force-displacement curve of the adhesively single lap joint. *European Mechanical Science* 2019; 3(4): 142–146.
- Durmuş M., Akpınar S. The experimental and numerical analysis of the adhesively bonded three-step-lap joints with different step lengths. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2020; 105(October 2019): doi:10.1016/j.tafmec.2019.102427
- Gavgali E., Sahin R., Akpınar S. An investigation of the fatigue performance of adhesively bonded step-lap joints: An experimental and numerical analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2021; 104(June 2020): 102736.
- Grant LDR., Adams RD., da Silva LFM. Experimental and numerical analysis of single-lap joints for the automotive industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2009; 29(4): 405–413.
- ISO 10365. Adhesives- Designation of main failure patterns 1992.
- Kanar B., Akpınar S., Avinc Akpınar I., Akbulut H., Ozel A. The fracture behaviour of nanostructure added adhesives under ambient temperature and thermal cyclic conditions. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2018; 97: 120-130.
- Kazaz I., Akpınar S., Ozel A. The effects of thermal cycle and nanostructure reinforcement on the shear load in adhesively bonded joints. *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 2020; 27(19): 1627-1638.
- Mubashar A., Ashcroft IA., Critchlow GW., Crocombe AD. Strength prediction of adhesive joints after cyclic moisture conditioning using a cohesive zone model. *Engineering Fracture Mechanics* 2011; 78(16): 2746–2760.
- Ozel A., Kadioglu F., Sen S., Sadeler R. Finite element analysis of adhesive joints in four-point bending load. *Journal of Adhesion* 2003; 79(7): 683–697.
- Sülü, İY. Mechanical behavior of composite parts adhesively jointed with the insert double-lap joint under tensile load. *Welding in the World*, 2018; 62(2): 403–413.
- Temiz Ş., Adin H., Sülü İY. Behaviour of bi-adhesive in double-strap joint with embedded patch subjected to bending. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 2015; 45(3): 83–96.
- Zielecki K., Witek L., Stachowicz F. Influence of plastic deformation of adherend material on stress distribution in adhesive lap joints. *Acta Metallurgica Slovaca* 2017; 23(4): 304–312.

Estimation of Streamflow Using Different Artificial Neural Network Models

Cihangir KOYCEGİZ^{1*}, Meral BUYUKYILDIZ²

^{1,2}Konya Technical University Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 42250, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0002-0510-1164>

²<https://orcid.org/0000-0003-1426-3314>

*Corresponding author: ckoycegiz@ktun.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 16.12.2021

Accepted: 10.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Artificial neural network

Seyhan basin

Streamflow

Water resources

ABSTRACT

Accurate estimation of streamflow is crucial for water resources planning, design and management, determining of flood and drought management strategies, and minimizing their adverse effects. In this study, the usability of Artificial Neural Network (ANN) models to estimate of monthly streamflow was investigated. For this purpose, monthly data of two stations located in the Seyhan Basin in the south of Turkey were used. The data of Sarız River-Şarköy observation station (No: D18A032) for the streamflow and Sarız meteorology station (No: 17840) for precipitation were used. The precipitation and flow data used belong to the period 1990-2017. Nine input combinations consisting of lags of streamflow and precipitation data were obtained and used in ANN models. We used two ANN techniques, namely Multilayer Perceptron (MLP) and Radial Basis Neural Networks (RBNN) to estimate the monthly streamflow. In the MLP technique, three learning algorithms with gradient descent with momentum and adaptive learning rule backpropagation (GDX), Levenberg-Marquardt (LM) and resilient backpropagation (RBP) were used. The parameters of each different ANN model obtained by using nine input combinations were obtained by trial and error. The success of the models used was evaluated using five different performance metrics. Which of the input combinations used in the streamflow estimation was more successful was decided according to the combination with the highest Nash Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) value of the test period. Although similar results were obtained in MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models, MLP models (except MLP-LM) were slightly more successful than RBNN models. The most successful streamflow estimation model was the MLP-GDX-M6 model. In the MLP-GDX-M6 model, MAE=1.148 m³/s, RMSE=1.815 m³/s, R²=0.724, NSE=0.717, and CA=1.069 were obtained for the testing period. The novelty of the study is that we have examined the credibility of ANN models, including the MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN for predicting the monthly streamflow in natural rivers.

Farklı Yapay Sinir Ağı Modelleri Kullanarak Nehir Akımı Tahmini

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.12.2021

Kabul tarihi: 10.03.2022

Online yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Yapay sinir ağları

Seyhan havzası

Nehir akımı

ÖZ

Su kaynaklarının planlanması, tasarımı ve yönetimi, taşkın ve kuraklık yönetim stratejilerinin belirlenmesi ve olumsuz etkilerinin minimize edilebilmesi nedeniyle nehir akımının doğru bir şekilde tahmin edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Yapay Sinir Ağları (YSA) modellerinin aylık nehir akımı tahmininde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Türkiye'nin güneyinde Seyhan Havzasında yer alan iki istasyonun aylık verileri kullanılmıştır. Nehir akımı için Sarız Nehri-Şarköy gözlem istasyonu (No: D18A032), yağış için Sarız meteoroloji istasyonu (No:

17840) verilerinden faydalanılmıştır. Kullanılan yağış ve akış verileri 1990-2017 periyoduna aittir. Akım ve yağış verilerinin gecikmelerinden oluşan dokuz giriş kombinasyonu elde edilmiş ve YSA modellerinde kullanılmıştır. Aylık nehir akımını tahmin etmek için Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Radyal Temelli Sinir Ağları (RBNN) olmak üzere iki YSA tekniği kullanılmıştır. MLP tekniğinde adaptif öğrenmeli ve momentum özellikli en dik iniş (GDX), esnek geri yayılım (RBP) ve Levenberg-Marquardt (LM) olmak üzere üç adet öğrenme algoritması kullanılmıştır. Farklı giriş kombinasyonları kullanılarak elde edilen her bir farklı YSA modelinin parametreleri deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Kullanılan modellerin başarısı beş farklı performans ölçütü kullanılarak değerlendirilmiştir. Akarsu tahmininde kullanılan giriş kombinasyonlarından hangisinin daha başarılı olduğuna, test döneminin Nash Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE) değeri en yüksek olan kombinasyona göre karar verilmiştir. MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM ve RBNN modellerinde benzer sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen MLP modelleri (LM hariç) az da olsa RBNN modellerinden daha başarılı olmuştur. En başarılı akım tahmin modeli MLP-GDX-M6 modeli olmuştur. MLP-GDX-M6 modelinde test periyodu için MAE=1.148 m³/s, RMSE=1.815 m³/s, R²=0.724, NSE=0.717 ve CA=1.069 olarak elde edilmiştir. Çalışmanın yeniliği, doğal nehirlerdeki aylık akış akışını tahmin etmek için MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM ve RBNN dahil olmak üzere YSA modellerinin güvenilirliğini incelemiş olmamızdır.

To Cite: Koycegiz C., Buyulyildiz M. Estimation of Streamflow Using Different Artificial Neural Network Models. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1141-1154.

1. Introduction

Accurate estimation of streamflow, which is one of the major components controlling the hydrological behavior of basin areas, plays a very important role in making flood warnings, operating reservoirs for flood control, determining the water potential of the river, hydroelectric production in dry periods, distribution of drinking water and irrigation water, and river transportation planning (Mohammadi et al., 2021). Streamflow in a watershed is affected by the physical features of the watershed, such as land use, vegetation, soil types and properties, topography, elevation, size and shape of the basin. In addition to these physical factors, streamflow exhibits a non-linear behavior that is affected by many meteorological factors such as precipitation type, duration of precipitation, intensity of precipitation, distribution of precipitation in the basin, temperature, evapotranspiration, and this complicates its monitoring (Liu et al. 2016).

Physically based models based on the physical process of streamflow formation, which can be revealed through analysis and simulation of hydrological cycles, and data driven models (Latt and Wittenberg, 2014; Cui et al., 2020; Xu et al., 2020) that can apprehend the mathematical relationship (non-linear or linear) between streamflow and its explanatory variables are widely used in flow estimation. Physically based models have the advantage of comprehending the hydrological process as they use the physical properties of the watershed, but require reliable data of the watershed parameters. Due to the limited physical information of most river basins around the world, the inability to comprehend the hydrological behavior of the basin correctly makes it difficult to use physically-based models for flow estimation (Zhang et al., 2015). Data-driven models such as Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Network (ANN) which do not need information about the

physical properties of the watershed and are completely based on the characterization of input-output data, are widely used in flow forecasting due to the minimum information requirement, real-time implementation and ease of development (Cui et al., 2020). Adamowski et al. (2012) used Multivariable Adaptive Regression Splines (MARS), wavelet transform-ANN and ANN methods for flow estimation in the Sainji mountain basin where there is not enough data in the Himalayas and compared the results. Hadi and Tombul (2018) used Auto-Regressive (AR), ANN, ANFIS and SVM models to predict streamflow in three basins in Turkey. Consequently, it was obtained that both ANN and ANFIS performed well in streamflow estimation, although ANN outperformed ANFIS for peak values. Liu et al. (2020) used the LSTM network connected Empirical Mode Decomposition (EMD) model for river flow estimation. The performance of the model was evaluated with the Willmott Index (WI) and Legates-McCabe's Index (LMI). The results demonstrated the reliability of this method in flood years and long-term continuous forecasts. Inputs created with monthly flow data yielded close results between forecast and observed values. Latt and Wittenberg (2014) used ANN and multiple linear regression (MLR) methods to estimate of Chindwin River floods using the rainfall and water level data of 1990-2011 periods. In the study by Latifoğlu and Nuralan (2020), monthly river flow data were estimated using Long Short Term Memory (LSTM) networks, which is a Deep Neural Network. The effect of pretreatment applied with Single Spectrum Analysis (SSA) to monthly river flow data on forecast performance was investigated. As a consequence, it was seen that the performance of the SSA-LSTM model was quite good, and the pre-processing of the SSA data significantly increased the model performance. As a result, it has been determined that the SSA-LSTM model can be used as a high-performance tool in river flow estimation studies. ANN, M5 and hybrid wavelet-M5 to model on both daily and monthly scales the rainfall-runoff process at two different basins were used by Nourani et al. (2019). For this purpose, three different data splitting strategies were implemented for the training and testing phases. Firstly, rainfall and runoff time series were decomposed into various sub-time series by applying wavelet transform. The sub-series determined later were used as input to the M5 model. According to the results obtained from the implemented models, the Hybrid Wavelet-M5 model performed better than the original M5 and ANN models.

Xu et al. (2020) used the LSTM network targeting the time series data area for the flow prediction of rivers. The predictions of LSTM are compared with Support Vector Regression (SVR) and Multilayer Perception Models (MLP). In addition, the effect factors of its performance were investigated by carrying out extended experiments on the LSTM model. It was seen that LSTM gave better results in performance results. Cheng et al. (2015) used ANN and SVR models to estimate the monthly flow of the Xinfengjiang Reservoir in China, and found that SVR outperformed ANN, but both models were suitable for the estimation process. Abdullahi et al. (2017) used artificial intelligence (AI) techniques such as ANN, wavelet-ANN (W-ANN), genetic programming (GP) and wavelet-genetic programming (W-GP) to estimate the flow in Iran. For this aim, precipitation data of seventeen meteorological gauge stations for the period 1999-2008 were used. According to the results obtained from the models,

the W-ANN model was more performed than the other models. However, it has been determined that the GP model has higher accuracy in estimating peak flow.

In this study, it is aimed to estimate monthly streamflow with two different ANN techniques, Multi-Layer Perceptron (MLP) and Radial Basis Neural Networks (RBNN), using different input combinations created by utilizing the lags of monthly streamflow and monthly precipitation data. The novelty of the study is that we have examined the credibility of ANN models, including the MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN for predicting the monthly streamflow in natural rivers.

2. Material and Methods

2.1. Multi-Layer Perceptron (MLP)

ANN, which was developed for the mathematical modeling of the learning process, inspired by the working system of the human brain, is known as the most powerful and flexible machine learning methods. ANNs are models with many important features such as learning by using the available data, establishing relationships, classifying, generalizing, and working with an unlimited number of variables (Şen, 2004). Multilayer Perceptron (MLP), which is the most common area of use due to its simple structure and used in our study, can be used in the prediction of nonlinear events (Haykin, 2009). MLP can solve estimation and classification problems with the widely used back propagation algorithm. In MLP networks, neurons are organized in layers. In order for MLP networks to be used in time series estimation, the structure of the network must be determined. The process of determining the network structure includes the number of layers of the network, the number of neurons in the layers, the number of iterations, the learning rate, the momentum coefficient, the activation function, and the determination of the normalization method. By changing parameters such as initial weights, the training of the network can be achieved, and the performance of the network can be measured by testing the trained network. The learning rule of the multilayer network is the generalization of the "Delta Learning Rule" based on the least squares method. For this reason, it is also called the "Generalized Delta Rule". More information on MLP is available in Haykin (2009). In this study, gradient descent with momentum and adaptive learning rule backpropagation (GDX), resilient backpropagation (RBP), and Levenberg-Marquardt (LM) are used as the training algorithm in the MLP technique. GDX is a network training function that updates weight and bias values according to gradient descent momentum and adaptive learning rate. The function `trainidx` combines adaptive learning rate with momentum training. GDX can train any network as long as its weight, net input, and transfer functions have derivative functions. Backpropagation is used to calculate derivatives of performance based on weight and bias variables (URL-1). MLP-RBP is a network training function that updates weight and bias values. The purpose of the MLP-RBP algorithm is to neutralize the negative conditions of the derivatives of the weights in the iterations. It can train any network as long as its weight, net input, and transfer functions have derivative functions. In RBP, which is a successful

training algorithm that manages the direct adaptation of the weight step with local slope information, there is a separate update value (Δ_j) for each weight. The update value determines the size of the weight update (URL-2). MLP-LM is generally the fastest backpropagation algorithm in the toolbox and is a hybrid of Gauss-Newton and steepest descent approaches to achieve optimal results. This training algorithm generally shows unlimited variations of the correction vector Δp in the inversion of nonlinear problems. Although LM requires more memory than other algorithms, it is highly recommended as a first choice supervised algorithm (URL-3). Detailed information about the GDX, RBP and LM training algorithms are available in literature (URL-1; URL-2; URL-3; Tezel and Buyukyildiz 2016).

2.2. Radial Basis Neural Network (RBNN)

RBNN is an artificial neural network model based on local action and response behaviours seen in neurons in the human nervous system (Broomhead and Lowe, 1988). The training performance of the RBNN model turns into a problem of finding the most suitable surface for the data in the output vector space and thus an interpolation problem. Similar to the general ANN architecture, RBFN models are defined in 3 layers: input layer, hidden layer and output layer. In the RBNN model, radial basis activation functions and nonlinear clustering analysis are used in the transition from the input layer to the hidden layer. There is no parameter learning in RBNN as in MLP and linear adjustment of weights is made for radial bases. This feature provides the advantage of a very fast convergence time without local minimums. Detailed information about the RBNN model is available in Haykin (2009).

2.3. Description of Data

Seyhan Basin, located in the southern part of Turkey, is located in the north of Adana Province in the Eastern Mediterranean Region of Turkey, between 36° 30' and 39° 15' north latitudes and 34° 45' and 37° 00' east longitudes. The Seyhan Basin, with an area of 22035 km², extends to the Ceyhan Basin in the east, Konya and the Eastern Mediterranean Basins in the west, Develi Basin and Kulmaç Mountains in the north, and the Mediterranean Sea in the south. Seyhan Basin has a frequent river network. The Seyhan River is formed by the merging of the Zamantı River and the Göksu River. In this study, monthly average streamflow data of Sarız River-Şarköy Station (No: D18A032) and monthly total precipitation data of Sarız Meteorological Station (No: 17840) on the Seyhan Basin were used. The data used belong to the period 1990-2017. The precipitation area of station D18A032 is 752.40 km² and is located at an altitude of 1400 m and at 36°19' E - 38°19' N. Sarız meteorological station is located at 36°29' E - 38°29' N and is altitude 1500 m. The location of the used streamflow and precipitation stations in the Seyhan Basin is given in Figure 1.

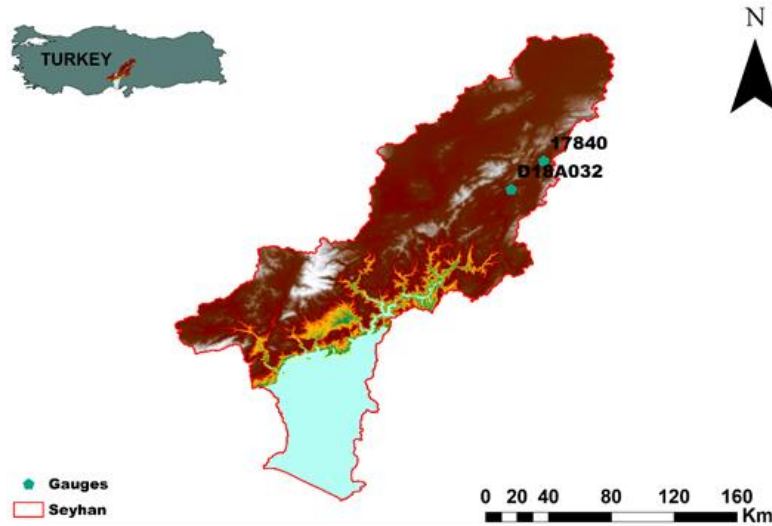


Figure 1. Location of the Seyhan Basin in Turkey, showing the location of the precipitation gauge station (17840) and of the streamflow gauge station (D18A032) in Seyhan Basin.

The monthly data of streamflow and precipitation of both stations belong to the duration of 1990–2017 (336 months). Before models’ implementation, the data were divided into two phases: approximately 70% (228 months) of the datasets was used for model development (training) phase while the rest 30% (108 months) of the datasets was divided for model evaluation (testing) purposes. The statistical parameters of the streamflow and precipitation data used in the ANN models for training, testing and the whole period are given in Table 1. Figure 2 shows the time series of runoff and precipitation data used in this study for the period 1990-2017.

Table 1. Descriptive statistics for monthly mean streamflow and monthly total precipitation

Parameter	Data set	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Skewness
Streamflow (m ³ /s)	Training	0.932	18.700	3.960	2.140	1.933
	Testing	0.677	18.600	3.676	3.411	2.219
	All	0.677	18.700	4.019	3.437	1.997
Precipitation (mm)	Training	0	21.350	4.181	2.788	1.687
	Testing	0	16.700	3.984	2.639	1.461
	All	0	21.350	4.117	2.730	1.618

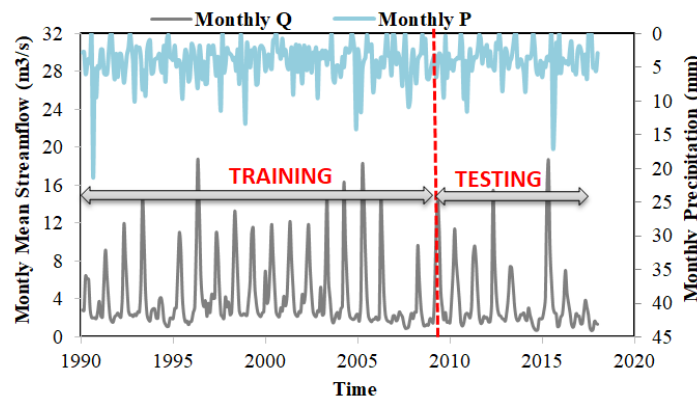


Figure 2. The time series of streamflow and precipitation during 1990-2017 periods

2.4. Model Performance Metrics

The accuracy of the implemented ANN models' was interpreted using Nash Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE), coefficient of determination (R^2), combined accuracy (CA), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) performance metrics. The equations of the performance metrics used are given below.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Q_{i_o} - Q_{i_e}|}{N} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{i_o} - Q_{i_e})^2}{N}} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (Q_{i_o} - \bar{Q}_o)(Q_{i_e} - \bar{Q}_e) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{i_o} - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^N (Q_{i_e} - \bar{Q}_e)^2} \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{i_o} - Q_{i_e})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{i_o} - \bar{Q}_o)^2} \quad (4)$$

$$CA = 0.33 (RMSE + MAE + (1 - R^2)) \quad (5)$$

where Q_o and Q_e , are the observed and estimated value of the flow, \bar{Q}_o and \bar{Q}_e , are the average of observed and estimated flow data.

3. Results and Discussion

In this study, the usability of two ANN methods, MLP and RBNN, was assessed in estimation of monthly streamflow of Sarız River-Şarköy station using hydro-meteorological inputs. ANN models were created using streamflow and precipitation lags. Nine input combinations were selected based on current time and antecedent precipitation and streamflow values. The input combinations used are given in Table 2. Let us assume that Q_t / P_t represents the streamflow/precipitation at current time (t), in this situation Q_{t-2} / P_{t-2} denotes the streamflow/precipitation two month prior to time t.

Before implementation the ANN models to estimate the monthly streamflow, the streamflow and precipitation data were normalized between 0 and 1 using Equation 6.

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (6)$$

where X_{norm} , X_i , X_{min} and X_{max} represent normalized, observed, minimum and maximum data values, respectively.

Table 2. Input combinations used in models

Model Names	Input	Output
M1	Q_{t-1}	
M2	Q_{t-1}, Q_{t-2}	
M3	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	
M4	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}$	
M5	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, P_{t-4}$	Q_t
M6	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}$	
M7	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, P_t, P_{t-1}, P_{t-2}$	
M8	Q_{t-1}, P_t, P_{t-1}	
M9	Q_{t-1}, P_t	

Two different ANN techniques, MLP and RBNN, were used to estimate the monthly average streamflow. Two hidden layers are used in the ANN structures trained with the GDX, RBP and LM training algorithms. Tangent sigmoid activation functions are used in the hidden layers and logarithmic sigmoid activation functions are used in the output layer. Momentum coefficient and learning rate were determined in 0.1 increments between 0.1 and 1 in MLP-GDX models. In the application of both MLP and RBNN models, the number of neurons in the hidden layers was identified in increments of 1 between 1 and 10, and the number of iterations was taken as 1000. In RBNN models, the spread number was obtained in increments of 0.01 between 0.01 and 2. As a result of all these assumptions, the most successful input combination in the streamflow estimation was decided according to the maximum NSE value of the testing period.

The model parameters of the most successful network structures obtained for each input combination in the MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models are given in Table 3. In Table 3; n and l represent the number of neurons in the first and second hidden layers, while lr and mc represent the learning rate and momentum coefficient, respectively. In the RBNN model, n and σ represent the number of neurons in the hidden layer and the spread number, respectively.

Table 3. Most successful network structures according to NSE

Input Combination	MLP-GDX				MLP-RBP		MLP-LM		RBNN	
	n	l	lr	mc	n	l	n	l	n	σ
M1	1	6	0.9	0.1	2	1	1	2	3	0.58
M2	3	1	0.6	0.9	2	10	2	1	6	0.43
M3	3	2	0.1	0.2	2	4	2	1	9	1.15
M4	7	4	0.2	0.8	2	4	2	1	9	1.08
M5	5	3	0.8	0.1	1	2	1	2	9	0.55
M6	6	3	0.1	0.5	2	6	1	1	10	0.63
M7	10	7	1	0.7	2	2	1	3	9	0.51
M8	4	10	0.6	0.8	4	1	4	1	8	0.20
M9	4	6	0.5	0.2	4	4	2	9	6	0.27

The training and testing statistics of the MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models are given in Table 4 for the Sarız River-Şarköy station.

Table 4. Comparison of statistical errors for MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models

Model Names	Performance Metric	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
MLP-GDX	TRAINING	MAE (m ³ /s)	1.683	1.416	1.371	1.295	1.254	1.354	1.241	1.486	1.512
		RMSE (m ³ /s)	2.644	2.282	2.271	2.196	1.996	2.093	1.997	2.314	2.400
		R ²	0.416	0.565	0.569	0.597	0.668	0.635	0.667	0.553	0.519
		NSE	0.416	0.565	0.569	0.597	0.667	0.634	0.667	0.553	0.519
		CA (m ³ /s)	1.621	1.364	1.344	1.285	1.182	1.258	1.178	1.402	1.450
	TESTING	MAE (m ³ /s)	1.508	1.187	1.127	1.163	1.183	1.148	1.108	1.245	1.256
		RMSE (m ³ /s)	2.348	1.881	1.873	1.888	1.950	1.815	1.846	2.118	2.093
		R ²	0.532	0.710	0.711	0.703	0.689	0.724	0.719	0.628	0.631
		NSE	0.526	0.696	0.699	0.694	0.673	0.717	0.707	0.614	0.624
		CA (m ³ /s)	1.427	1.108	1.085	1.105	1.137	1.069	1.067	1.233	1.227
MLP-RBP	TRAINING	MAE (m ³ /s)	1.701	1.350	1.338	1.404	1.490	1.246	1.432	1.587	1.465
		RMSE (m ³ /s)	2.668	2.195	2.247	2.277	2.308	1.962	2.189	2.316	2.262
		R ²	0.405	0.598	0.578	0.567	0.555	0.679	0.600	0.553	0.573
		NSE	0.405	0.598	0.578	0.567	0.555	0.678	0.600	0.552	0.573
		CA (m ³ /s)	1.638	1.303	1.322	1.358	1.400	1.165	1.327	1.436	1.371
	TESTING	MAE (m ³ /s)	1.528	1.184	1.197	1.209	1.343	1.315	1.191	1.327	1.278
		RMSE (m ³ /s)	2.373	1.925	1.897	1.925	2.075	2.017	1.880	2.192	2.072
		R ²	0.520	0.691	0.700	0.694	0.645	0.661	0.712	0.589	0.634
		NSE	0.516	0.682	0.691	0.682	0.630	0.650	0.696	0.587	0.631
		CA (m ³ /s)	1.446	1.128	1.120	1.135	1.245	1.211	1.109	1.297	1.226
MLP-LM	TRAINING	MAE (m ³ /s)	1.724	1.330	1.307	1.353	1.479	1.512	1.483	1.416	1.041
		RMSE (m ³ /s)	2.689	2.244	2.235	2.252	2.302	2.343	2.339	2.255	1.660
		R ²	0.396	0.579	0.583	0.577	0.557	0.541	0.543	0.575	0.770
		NSE	0.396	0.579	0.583	0.577	0.557	0.541	0.543	0.575	0.770
		CA (m ³ /s)	1.656	1.318	1.307	1.329	1.394	1.423	1.412	1.352	0.967
	TESTING	MAE (m ³ /s)	1.548	1.200	1.179	1.277	1.345	1.370	1.318	1.420	1.320
		RMSE (m ³ /s)	2.416	1.946	1.933	2.007	2.088	2.063	2.025	2.210	2.162
		R ²	0.507	0.686	0.689	0.689	0.639	0.651	0.662	0.590	0.599
		NSE	0.498	0.674	0.679	0.654	0.625	0.634	0.647	0.580	0.598
		CA (m ³ /s)	1.471	1.142	1.136	1.186	1.252	1.248	1.215	1.333	1.282
RBNN	TRAINING	MAE (m ³ /s)	1.719	1.409	1.454	1.435	1.401	1.418	1.300	1.550	1.587
		RMSE (m ³ /s)	2.698	2.261	2.300	2.292	2.127	2.201	2.121	2.477	2.522
		R ²	0.392	0.573	0.558	0.561	0.622	0.595	0.624	0.488	0.469
		NSE	0.392	0.573	0.558	0.561	0.622	0.595	0.624	0.488	0.469
		CA (m ³ /s)	1.658	1.352	1.385	1.375	1.289	1.328	1.253	1.498	1.531
	TESTING	MAE (m ³ /s)	1.516	1.165	1.184	1.192	1.248	1.181	1.170	1.322	1.317
		RMSE (m ³ /s)	2.355	1.909	1.923	1.926	2.038	1.933	1.914	2.142	2.180
		R ²	0.528	0.697	0.691	0.688	0.646	0.684	0.691	0.609	0.605
		NSE	0.523	0.687	0.682	0.681	0.643	0.679	0.685	0.606	0.592
		CA (m ³ /s)	1.433	1.114	1.128	1.132	1.201	1.132	1.120	1.272	1.284

According to the values given in Table 4, the lowest successful input combination in MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models was the M1 model, in which Q_{t-1} data were used in both the training and test periods. Higher MAE, RMSE and CA, lower R^2 and NSE values were obtained in M1 input combination compared to other input combinations.

In MLP-GDX models for testing period, the MAE ($=1.108 \text{ m}^3/\text{s}$) and CA ($=1.067 \text{ m}^3/\text{s}$) values of the M7 input combination are lower than the MAE and CA values of all input combinations. However, the input combination with the lowest RMSE ($=1.815 \text{ m}^3/\text{s}$), the highest R^2 ($=0.724$) and NSE ($=0.717$) values in MLP-GDX technique was obtained as M6. For this reason, the most successful input combination in MLP-GDX technique was accepted as the M6 model, in which the parameters Q_{t-1} , Q_{t-2} , Q_{t-3} , P_t , P_{t-1} , P_{t-2} , P_{t-3} were used. In the MLP-RBP models for testing period, the most successful input combination was the M7 model, in which the Q_{t-1} , Q_{t-2} , P_t , P_{t-1} , P_{t-2} parameters were used. The MLP-RBP-M7 model has lower MAE ($=1.191 \text{ m}^3/\text{s}$), RMSE ($=1.880 \text{ m}^3/\text{s}$), CA ($=1.109 \text{ m}^3/\text{s}$) values and higher R^2 ($=0.712$) and NSE ($=0.696$) values than the other MLP-RBP models.

In the MLP-LM models for testing period, the most successful input combination was the M3 model, in which the Q_{t-1} , Q_{t-2} , Q_{t-3} parameters were used. The MLP-LM-M3 model has lower MAE ($=1.179 \text{ m}^3/\text{s}$), RMSE ($=1.933 \text{ m}^3/\text{s}$), CA ($=1.136 \text{ m}^3/\text{s}$) values and higher R^2 ($=0.689$) and NSE ($=0.679$) values than the other MLP-RBP models.

In the RBNN models for testing period, the most successful input combination was the M2 model, in which the Q_{t-1} and Q_{t-2} parameters were used. The RBNN-M2 model has lower MAE ($=1.165 \text{ m}^3/\text{s}$), RMSE ($=1.909 \text{ m}^3/\text{s}$), CA ($=1.114 \text{ m}^3/\text{s}$) values and higher R^2 ($=0.697$) and NSE ($=0.687$) values than the other RBNN models. On the other hand, according to the performance criteria, the results of the M7 input combination in RBNN models are very similar to the results of the M2 input combination.

When comparing the MLP-GDX, MLP-RBP, MLP-LM and RBNN models, the MLP-GDX models with the lowest MAE, RMSE, CA and highest R^2 , NSE values outperformed the RBNN, MLP-LM and MLP-RBP models for flow prediction at all input combinations.

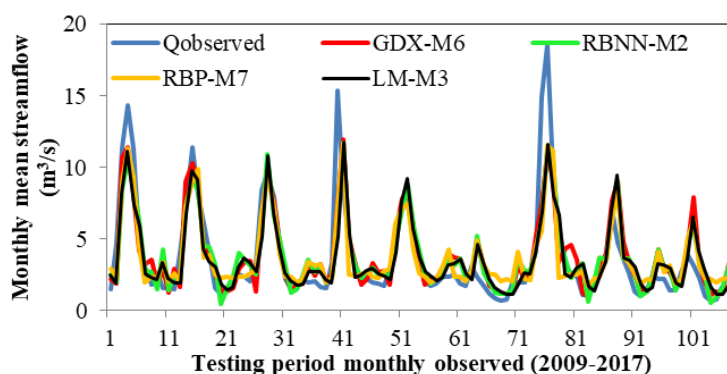


Figure 3. Optimal models and observed monthly mean streamflow for the testing period (2009–2017) using GDX-M6, RBP-M7, LM-M3 and RBNN-M2

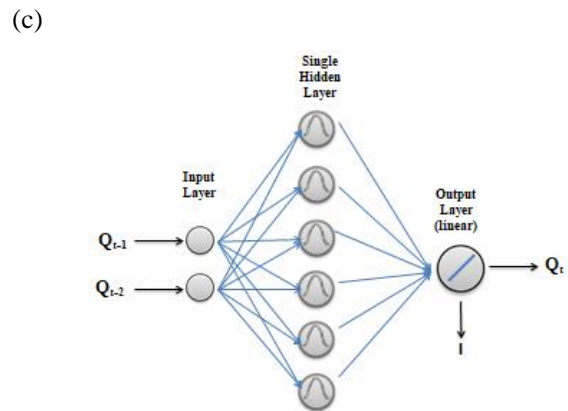
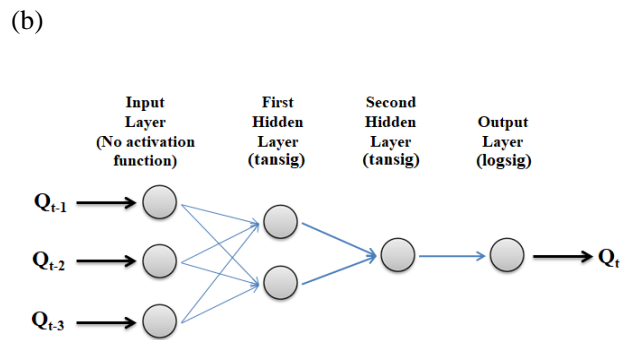
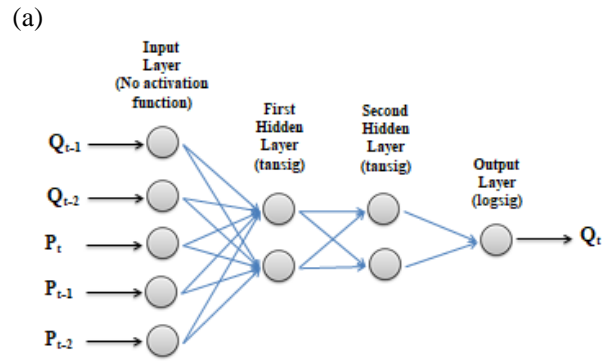
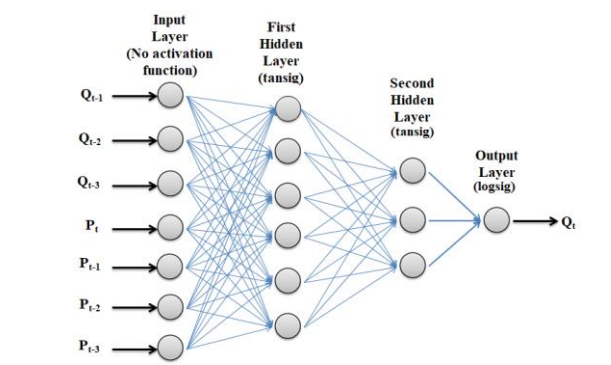
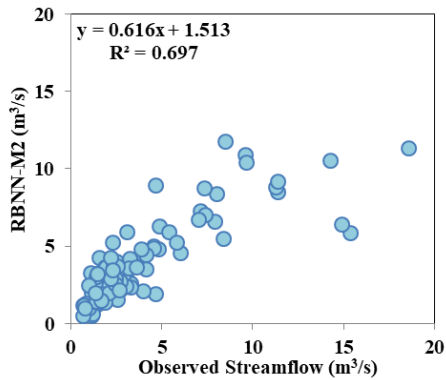
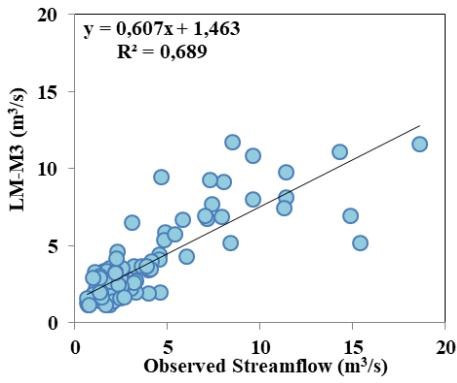
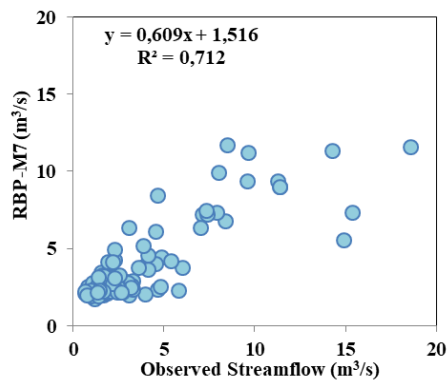
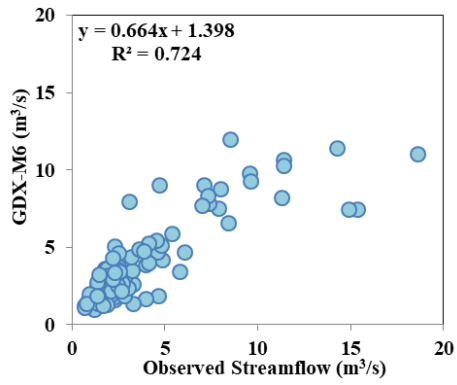


Figure 4. ANN architecture of the selected models, and scatter-diagrams of observed and estimated monthly mean streamflow GDX-M6, b) RBP-M7, c) LM-M3 and d) RBNN-M2 model

The time series for the testing period of the MLP-GDX-M6, MLP-RBP-M7, MLP-LM-M3 and RBNN-M2 models, in which the most successful results were obtained in the streamflow estimation, are shown in Figure 3. ANN architecture of the selected models and the scatter diagrams are shown in Figure 4.

4. Conclusions

In this study, monthly streamflow estimation was made using ANN-based modeling approach. Nine different input combinations consisting of the lags of precipitation and streamflow data of the study area were used in the ANN models. MLP and RBNN models were used for streamflow estimation. In the MLP technique, models were created with GDX, RBP and LM training algorithms. While MLP models showed the highest success in almost every input combination, LM models were the model that showed the lowest prediction success. All four models used were also found to significantly overestimate/underestimate low/high streamflow values in some times of the test period.

There are some limitations that affect the success of the used models in this study. These limitations include the small size of the training and test data, the input variables used, the structure of the models used, and the selection of model parameters. Although the results obtained from the ANN models used in this study are promising, it may be possible to achieve higher streamflow prediction success with different applications. Because, obtaining streamflow forecasting models with high forecasting success will contribute to missing data completion, flood modeling studies, and modeling of other hydrological variables. Streamflow data is under the influence of many meteorological parameters such as temperature, evaporation, snowmelt, humidity as well as precipitation and has a stochastic and non-linear structure. Therefore, the performance of streamflow prediction models can be improved by using more meteorological variables. In addition, using decomposition techniques such as wavelet and empirical mode decomposition, weakening the non-stationary and non-linearity of the streamflow data, using longer-term data, and improving the convergence rate by using more robust algorithms can increase the success of the models. These mentioned points will shed light on future streamflow estimation and similar hydrological studies.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

Abdollahi S., Raeisi J., Khalilianpour M., Ahmadi F., Kisi O. Daily mean streamflow prediction in perennial and non-perennial rivers using four data driven techniques. *Water Resources Management* 2017; 31: 4855–4874.

- Adamowski J., Chan HF., Prasher SO., Sharda VN. Comparison of multivariate adaptive regression splines with coupled wavelet transform artificial neural networks for runoff forecasting in Himalayan micro-watersheds with limited data. *Journal of Hydroinformatics* 2012; 14(3): 731-744.
- Broomhead D., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks. *Complex Systems* 1988; 2: 321-355.
- Cheng CT., Feng ZK., Niu WJ., Liao SL. Heuristic methods for reservoir monthly inflow forecasting: A case study of Xinfengjiang Reservoir in Pearl River, China. *Water* 2015; 7: 4477-4495.
- Cui F., Salih SQ., Choubin B., Bhagat SK., Samui P., Yaseen ZM. Newly explored machine learning model for river flow time series forecasting at Mary River, Australia. *Environmental Monitoring and Assessment* 2020; 192: 761.
- Hadi SJ., Tombul M. Monthly streamflow forecasting using continuous wavelet and multi-gene genetic programming combination. *Journal of Hydrology* 2018; 516: 674–687.
- Haykin S. *Neural networks and learning machines*. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2009.
- Latifoğlu L., Nuralan KB. Tekil spektrum analizi ve uzun-kısa süreli bellek ağları ile nehir akım tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 376-381.
- Latt ZZ., Wittenberg H. Improving flood forecasting in a developing country: a comparative study of stepwise multiple linear regression and artificial neural network. *Water Resources Management* 2014; 28(8): 2109-2128.
- Liu D., Jiang W., Mu L., Wang S. Streamflow prediction using deep learning neural network: Case study of Yangtze River. *IEEE Access*, 2020; 8: 90069-90086.
- Liu Y., Sang YF., Li X., Hu J., Liang K. Long-term streamflow forecasting based on relevance vector machine model. *Water* 2016; 9(1): 9.
- Mohammadi B., Moazenzadeh R., Christian K., Duan Z. Improving streamflow simulation by combining hydrological process-driven and artificial intelligence-based models. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28, 65752–65768.
- Nourani V., Davanlou Tajbakhsh A., Molajou A., Gokcekus H. Hybrid wavelet-M5 model tree for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrologic Engineering* 2019; 24(5): 04019012.
- Şen Z. *Yapay sinir ağları ilkeleri*. Su Vakfı Yayınları, 183 p., İstanbul.2004.
- Tezel G., Buyukyildiz M. Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Teor. Appl. Climatol.* 2016; 124: 69-80.
- URL-1, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/traingdx.html> (17.01.2022)
- URL-2, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainrp.html> (17.01.2022)
- URL-3, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html> (17.01.2022)
- Xu W., Jiang Y., Zhang X., Li Y., Zhang R., Fu G. Using long short-term memory networks for river flow prediction. *Hydrology Research* 2020; 51(6): 1358-1376.

Zhang X., Peng Y., Zhang C., Wang B. Are hybrid models integrated with data preprocessing techniques suitable for monthly streamflow forecasting? Some experiment evidences. *Journal of Hydrology* 2015; 530: 137-152.

Haydarpaşa Limanı Proje Alanının Doğrusal Olmayan Sismik Yerel İvme Değişimlerine Bağlı Sıvılaşma Analizi

Fırat AYKAT¹, Arda Burak EKMEN^{2*}

^{1,2}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0001-5501-6702>

²<https://orcid.org/0000-0002-9703-2185>

*Sorumlu yazar: ardaburakekmen@harran.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 05.01.2022

Kabul tarihi: 14.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Deprem

Sıvılaşma analizi

Sıvılaşma potansiyeli

Sismik saha analizi

Haydarpaşa Limanı

ÖZ

Sıvılaşma analizlerinin detaylı olarak gerçekleştirilme gereksinimi ve bu analizlerin gerçekçi çözümlerine hızlı bir şekilde ulaşma ihtiyacı, bilgisayar teknolojilerinin bu kapsamda daha yaygın kullanımını sağlamıştır. Bu çalışmada, bilgisayar programları aracılığıyla deprem senaryolarına bağlı gerçek ivme-zaman değişimleri kullanılarak Haydarpaşa Limanı (İstanbul) proje alanı için sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Sismik saha analizleri Deepsoil programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde $M_w=5,5$, $M_w=6,0$, $M_w=6,6$, $M_w=7,1$ ve $M_w=7,6$ büyüklüklerindeki deprem kayıtları (sırasıyla Bolu-Düzce-1, Çankırı-Orta, İzmir-Seferihisar, Bolu-Düzce-2 ve İzmit-Gölcük) kullanılmış olup doğrusal olmayan yöntem seçilerek her deprem için maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri elde edilmiştir. Sıvılaşma analizlerinde sadeleştirilmiş teorik yöntem ve Novoliq yazılımı kullanılmıştır. İlgili deprem kayıtlarının sıvılaşma analizlerinde dikkate alınmasıyla gerçek duruma yakın bir şekilde analizler yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri Novoliq programında her bir deprem büyüklüğü için 9 farklı yaklaşım kullanılarak yürütülmüştür. Sadeleştirilmiş teorik yöntemle birlikte toplamda 10 farklı metoda göre sıvılaşma analizleri tamamlanmış ve ulaşılan sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. İncelenen alanda belirtilen büyüklüklerdeki depremler için tüm derinliklerde sıvılaşma riskinin bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Liquefaction Analysis of the Haydarpaşa Port Project Area Considering Nonlinear Seismic Local Acceleration Variations

Research Article

Article History:

Received: 05.01.2022

Accepted: 14.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Earthquake

Liquefaction analysis

Liquefaction potential

Seismic field analysis

Haydarpaşa Port

ABSTRACT

The need to carry out liquefaction analyses in detail and quickly reach realistic solutions for these analyses has led to the widespread use of computer technologies in this context. In this study, the liquefaction potential for Haydarpaşa Port (Istanbul) project area was investigated by using real acceleration-time variations depending on earthquake scenarios through computer programs. Seismic response analyses were carried out by the Deepsoil software. The earthquake magnitudes of $M_w=5.5$, $M_w=6.0$, $M_w=6.6$, $M_w=7.1$ and $M_w=7.6$ (Bolu-Düzce-1, Çankırı-Orta, İzmir-Seferihisar, Bolu-Düzce-2, and İzmit-Gölcük, respectively) were used in the analyses, and peak ground acceleration (PGA) values were obtained for each earthquake by using the non-linear method. The simplified theoretical method and Novoliq software were used in liquefaction analysis. Analyses were carried out realistically by considering the earthquake records. Liquefaction analyses were conducted according to 9 different methods for each earthquake magnitude in the Novoliq software. Liquefaction analyses were completed according to a total of 10 different methods with the simplified theoretical method, and the results were compared with each other. It has been

concluded that there is a risk of liquefaction at all depths for earthquakes of specified magnitudes in the investigated field.

To Cite: Aykat F., Ekmen AB. Haydarpaşa Limanı Proje Alanının Doğrusal Olmayan Sismik Yerel İvme Değişimlerine Bağlı Sıvılaşma Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1155-1171.

Giriş

Sismik dalgalar zemin katmanları içerisinde yayılırken zeminde düzensiz kayma gerilmelerinin oluşmasına neden olurlar. Bu durumda zeminde dayanım azalması ve zemin katmanlarında yumuşama görülebilmektedir (Ansal, 1999). Depremlerden hemen sonra sıvılaşma, çığ düşmeleri, heyelan, faylanma vb. doğa olayları ortaya çıkabilmekte ve yapılarda ciddi hasarlar oluşabilmektedir. Tasarımı uygun yapılmamış yapılar zemin koşullarının elverişsiz olduğu yerlerde deprem esnasında ağır kayıplara neden olabilir. Sıvılaşmaya elverişli zeminlerin fiziksel özellikleri, depremin yer ivmesi ve yer altı su seviyesine göre ortaya çıkabilen zemin davranışları, zeminlerin üzerindeki ve içindeki yapı elemanlarına ağır hasarlar verebilmektedir.

Deprem esnasında ortaya çıkan enerji, ses veya su dalgalarına benzer şekilde hareket ederek sismik dalgalar halinde yayılır. Deprem anında zeminlerde görülen sismik dalgalar, zeminlerin cinsine bağlı olarak farklı hızlarda yayılabilmekte ve zeminlerde farklı etkiler bırakabilmektedir. Büyüklüğü 5'ten fazla olan ($M_w > 5$) depremler incelendiğinde, sıvılaşma durumunun genellikle suya doygun, gevşek, siltli, kumlu ve ince çakıllı zeminlerde meydana geldiği görülmüştür (Hakan, 2019).

Zemin sıvılaşması genel olarak yeraltı suyunun yüksek olduğu deniz, dere ve göl kenarlarına yakın olan alanlarda ortaya çıkar. Sıvılaşma anında boşluk suyu basıncı arttığından efektif gerilme azalır ve artan boşluk suyu basıncından dolayı danelerin arasında var olan sürtünme kuvveti ortadan kalkar, bu sebeple zemin viskoz bir sıvıymış gibi hareket eder (Öztürk, 2016). Depremler sismik dalgalar olarak yayıldığından geçtiği kaya veya zemin ortamını değiştirebilmektedirler. Sismik dalgaların zemin katmanları arasından yayılımı esnasında ortaya çıkan tekrarlı kayma gerilmeleri sonucu zeminlerin dayanımında, sıklığında ve sertliğinde azalmalar olabilmektedir (Çıklaiblikçi, 2019). Sismik nedenlerden dolayı ortaya çıkabilecek sıvılaşma hasarları gözetildiğinde sıvılaşma riskinin bulunduğu alanlarda yer alan kritik yapıların (limanlar, metrolar, barajlar, demir yolları, havaalanı pistleri vb.) tasarımlarının büyük önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Sıvılaşma anında zeminlerin yüzeye doğru hareket etmesiyle taşıma gücünde azalmalar olacağından bu duruma maruz kalan zeminler yapı yüklerini taşıyamayacak hale gelebilir ve yapılarda çökme, devrilme, oturma yana yatma gibi ciddi hasarlar görülebilir. Bu durumda yüzeye yakın yerlerin hemen altındaki elemanlar (su depoları, boru, kanalizasyon vb.) zemin yüzeyine doğru çıkmaya çalışırlar. Sıvılaşma; baraj, köprü, bina, su şebekeleri, yol vb. yapılarda yıkıcı etkiler bırakabilmektedir. Sıvılaşma potansiyelini projenin tasarım aşamasında belirleyip gerekli önlemlerin alınması ile oluşabilecek hasarların minimum seviyeye indirilmesi günümüzde mümkündür. Literatürde, güncel yöntemlerle gerçekleştirilen sıvılaşma değerlendirmelerine (örneğin; Tang ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021) yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu çalışmada, Mersin ve İzmir Limanlarından sonra Türkiye'nin üçüncü büyük limanı olma özelliğine sahip Haydarpaşa Limanı proje alanının sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Haydarpaşa Limanı ve

çevresinin sıvılaşma potansiyelinin araştırılması amacıyla farklı deprem büyüklükleri için sismik saha analizleri gerçekleştirilmiştir. Sismik saha analizlerinde DEEPSOIL (2020) yazılımı kullanılmış olup yapılan analizlerde PGA değerleri her deprem senaryosu için ayrı ayrı elde edilmiştir. Sismik saha tepkisi aracılığıyla çalışılan bölge için gerçekçi sıvılaşma analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Sıvılaşma analizleri SPT bazlı sadeleştirilmiş teorik yöntem (Seed ve Idriss, 1971) ve NOVOLIQ (2020) zemin sıvılaşma yazılımında yer alan yöntemlerin birlikte dikkate alınması ile gerçekleştirilmiş olup sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan zemin parametrelerinin tümü Haydarpaşa Tren Garı'nda yapılan sondaj verilerinden alınmıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen zemin profilinde; ağız kotundan başlayarak 2,80-3,40 metre aralığında yapay dolgu, 13,80-16,50 metre aralığında alüvyon, 16,5 metre altında ise grovak-şeyl (Trakya Formasyonu'na ait) bulunmaktadır. İnceleme alanında 5 adet 20 metre ve 1 adet 17 metre derinliğinde olmak üzere toplamda 6 sondaj kuyusu mevcuttur. Sismik saha analizlerinde sondaj verileri kullanılırken en riskli durumun gözetilmesiyle güvenli tarafta kalınarak Tablo 1'de sunulan değerler dikkate alınmıştır. İlgili zemin etüt raporunda belirtildiği üzere; inceleme alanında yapılan sondajlarda yer altı su seviyesi 4,20 metre olarak belirlenmiştir ve yapılan sondaj çalışmalarından alınan numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla dayanım deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışmada sismik saha analizlerinde DEEPSOIL (2020) programı kullanılarak gerçek deprem senaryoları simüle edilmiştir. $M_w=5,5$, $M_w=6,0$, $M_w=6,6$, $M_w=7,1$, $M_w=7,6$ büyüklüğündeki depremler kullanılmış ve ilgili alana uygulanmıştır. Sismik saha analizlerinde belirtilen deprem büyüklüklerinin tümü için ayrı ayrı PGA değerleri elde edilmiştir. Sıvılaşma analizlerinde SPT'ye bağlı yöntemler kullanılmıştır. Seed ve Idriss'e (1971) göre yapılan teorik analiz sonuçlarını karşılaştırmak için kapsamlı sıvılaşma analizleri yapabilen NOVOLIQ (2020) programı kullanılmıştır. NOVOLIQ (2020) programıyla yapılan analizlerde önemli araştırmacıların geliştirdikleri çeşitli yöntemler seçilmiştir (Shibata, 1981; Seed ve ark., 1983; Kokusho ve ark., 1983; Tokimatsu ve Yoshimi, 1983; Youd ve ark., 1997; Japanese Highway Bridge Code, 2002; Vancouver Task Force, 2007; Chinese Code, 2010; Boulanger ve Idriss, 2014). Böylece teorik analizle birlikte 10 ayrı yöntem kullanılarak inceleme alanı için kapsamlı sıvılaşma analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. DEEPSOIL (2020) programına girilen zemin parametreleri (Zemin Etüt Raporu, 2019)

Tabaka	Derinlik, (m)	Birim Ağırlık, (kN/m ³)	Vs min, (Kayma dalga hızı) (m/s)	Katman Kalınlığı, (m)	Kayma Dayanımı, (kPa)	
1	Dolgu	0,50	13,24	90	0,50	49,76
2	Dolgu	1,10	13,24	119	0,60	49,76
3	Dolgu	1,70	13,24	111	0,60	49,76
4	Dolgu	2,30	13,24	104	0,60	49,76
5	Dolgu	3,00	13,24	179	0,70	49,76
6	Dolgu	3,70	13,24	173	0,70	49,76
7	Alüvyon	4,40	15,70	180	0,70	49,76
8	Alüvyon	5,20	15,70	203	0,80	49,76
9	Alüvyon	6,00	15,70	264	0,80	51,93
10	Alüvyon	6,80	15,70	287	0,80	51,93
11	Alüvyon	7,70	15,70	308	0,90	51,93
12	Alüvyon	8,60	15,70	334	0,90	51,93
13	Alüvyon	9,60	15,70	367	1,00	52,25
14	Alüvyon	10,60	15,70	392	1,00	52,25
15	Alüvyon	11,60	15,70	415	1,00	52,25
16	Alüvyon	12,70	15,70	432	1,10	52,25
17	Alüvyon	13,80	15,70	431	1,10	52,25
18	Alüvyon	15,00	15,70	426	1,20	52,25
19	Grovak	16,10	22,00	419	1,10	52,25
20	Grovak	17,40	22,00	420	1,30	52,25
21	Grovak	18,60	22,00	402	1,20	52,25
22	Grovak	19,90	22,00	392	1,30	52,25

Bu çalışmadaki teorik analizde yer alan N_{60} ve $N_{1,60}$ değerleri Denklem 1 ve 2 dikkate alınarak (Skempton, 1986) hesaplanmıştır.

$$N_{60} \quad (1)$$

$$N_{1,60} \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2'de, N_{60} , tokmağın serbest düşme enerjisine göre düzeltilmiş vuruş sayısını, N , arazide ölçülmüş SPT vuruş sayısını, E_m , şahmerdan etkinliğini, C_r , t_{ij} uzunluğu düzeltme katsayısını, C_b , sondaj çapı düzeltme katsayısını, C_N , örtü basıncı düzeltme katsayısını ve $N_{1,60}$, tokmağın serbest düşme enerjisine göre düzeltilmiş vuruş sayısını ifade eder.

Ayrık taneli (kum gibi) zeminlerin çevre basınçları büyük oranda penetrasyon direncini etkilemektedir. Kum zeminlerde farklı derinliklerde yapılan SPT uygulamalarında aşağıya doğru inildikçe vuruş sayısının artması beklenir. Çevre basıncı etkisinin hesaplanması için örtü basıncı

düzeltilme faktörü ile N_{60} değerleri Denklem 2’de gösterildiği gibi işleme girer. Düşey efektif gerilmeye göre 2 farklı durum söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada düşey efektif gerilmenin 200 kPa’dan az olması durumunda örtü basıncı düzeltilme katsayısı değeri (C_N), Liao ve Whitman’ın (1986) önerdiği, Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_N = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma'_{v0}}} \leq 1,70 \quad (3)$$

Düşey efektif gerilmenin 200 kPa’dan fazla olması durumunda ise örtü basıncı düzeltilme katsayısı değeri (C_N), Kayen ve ark.’ın (1992) önerdiği Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_N = 2,2 / (1,2 + \frac{\sigma'_{v0}}{Pa}) \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4’te, σ'_{v0} , düşey efektif gerilmeyi, Pa , yaklaşık olarak 100 kPa değerini ifade etmektedir.

Sıvılaşma potansiyelini belirlemek için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerin başında “Tekrarlı Kayma Gerilmesi Oranı Kriterleri” yöntemi gelmektedir. Bu yöntemde güvenlik sayısı (G_s), Denklem 5’te gösterilen şekilde elde edilmektedir:

$$G_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (5)$$

Denklem 5’te, CSR, tekrarlı gerilme oranını, CRR, ise tekrarlı mukavemet oranını ifade etmektedir. Bu yöntemde göre; $G_s < 1,00$ olması halinde sıvılaşma kaçınılmazdır, $1,00 \leq G_s < 1,20$ olması halinde sıvılaşma riski söz konusudur, $G_s \geq 1,20$ olması halinde ise sıvılaşmanın meydana gelmeyeceği belirtilmiştir. Seed ve ark. (1985) SPT ile sıvılaşma arasındaki ilişkiyi $N_{1,60} > 30$ durumunda önemsiz, $20 \leq N_{1,60} < 30$ için orta ve $0 \leq N_{1,60} < 20$ içinse yüksek olmak üzere 3 durumda açıklamışlardır.

Sıvılaşmaya yatkın zeminlerde olası bir deprem için CSR Denklem 6 ile hesaplanabilmektedir (Seed ve Idriss, 1971).

$$\begin{aligned} CSR &= \frac{\tau_{tek}}{\sigma'_0} \\ &= 0,65 \text{ rd} \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Denklem 6'da, τ_{tek} , tekrarlı kayma gerilmesini (deprem kaynaklı uniform), a_{max} , maksimum yer ivmesini, σ_{V0} , toplam düşey gerilmeyi, σ'_{V0} , düşey efektif gerilmeyi, rd , derinlik azaltma faktörünü, g , yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Denklem 7'de derinlik azaltma faktörü (gerilme azaltma katsayısı) sunulmuştur (Kayen ve ark., 1992).

$$rd = 1 - 0,012 z \quad (7)$$

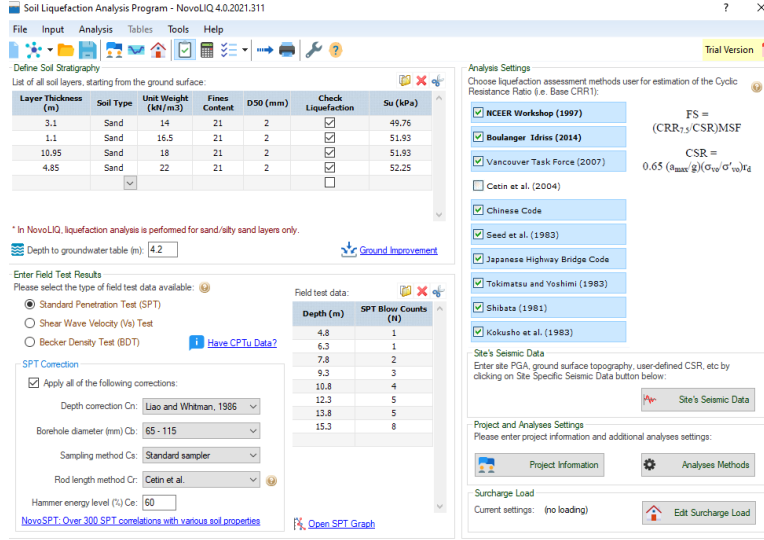
Denklem 7'de z , derinliği ifade etmektedir.

Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini elde etmek için düzeltilmiş vuruş sayısı ile ince tane oranı kullanılır. Tekrarlı mukavemet oranı sıvılaşma direncini ifade etmektedir. CRR değeri Seed ve ark. (1985) dikkate alınarak hesaplanabilmektedir. Bu kapsamda $M_w=7.5$ olan depremlerde $N_{1,60}>30$ olması durumunda temiz kumlarda sıvılaşmanın meydana gelmeyeceği kabul edilir. $M_w=7.5$ 'ten farklı bir deprem büyüklüğü söz konusuysa CRR değerinin hesaplanmasında Denklem 8'de yer alan büyüklük ölçek faktörü (BÖF) kullanılır (Youd ve ark., 2001).

$$BÖF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (8)$$

Denklem 8'de M_w , deprem moment büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında teorik sıvılaşma hesaplarında Denklem 5-8 kullanılarak gerekli işlemler yapılmıştır.

Çok aşamalı ve bir boyutlu sismik saha tepki analizi yapabilen DEEPSOIL (2020) programında, meydana gelmiş depremlerin ivme kayıtları incelenen alana uygulanarak sıvılaşma analizlerinde kullanılacak PGA değerleri elde edilmiştir. NOVOLIQ (2020) programı kullanılarak önemli araştırmacıların geliştirdikleri Şekil 1'de sunulan çeşitli yöntemler ile sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. NOVOLIQ (2020) programında seçilen yöntemler ve programa tanımlanan bu çalışmadaki zemin verileri

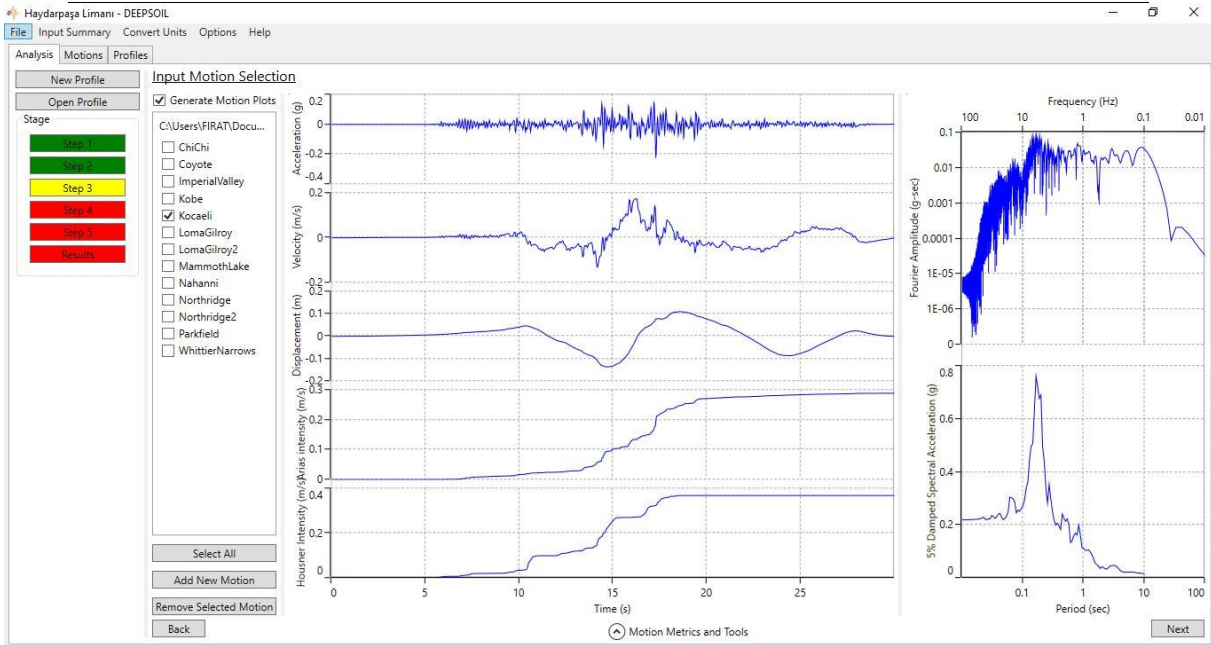
Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada incelenen alanda sıvılaşma analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için ilk aşamada DEEPSOIL (2020) programı kullanılarak sismik saha analizi yapılmıştır. Öncelikle Düzce (Bolu) Depremi (12.11.1999, Bolu Merkez istasyonu, Mw=5,5), Orta (Çankırı) Depremi (06.06.2000, Çankırı Çerkeş istasyonu, Mw=6,0), Ege Denizi (17.26 km Seferihisar (İzmir) Depremi, 30.10.2020, İzmir Çeşme istasyonu, Mw=6,6), Düzce (Bolu) Depremi (12.11.1999, Düzce istasyonu, Mw=7,1), Gölcük (İzmit) Depremi (17.08.1999, DEEPSOIL (2020) kayıtlı deprem, Mw=7,6) senaryoları ayrı ayrı Şekil 2’de gösterildiği gibi Haydarpaşa Limanı proje alanına uygulanmıştır. Yapılan sismik saha analizleriyle her bir deprem büyüklüğü için PGA değerleri elde edilmiş ve PGA-derinlik grafikleri Şekil 3’te gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Elde edilen PGA değerleri, Seed ve Idriss (1971) yöntemi ve NOVOLIQ (2020) programına göre yapılan sıvılaşma analizlerinde dikkate alınmıştır. Teorik analiz için ilgili zemin etüt raporundan; standart penetrasyon test (SPT) verileri ve zemin özellikleri alınarak, N_{60} ve $N_{1,60}$ düzeltilmiş vuruş sayılarına ulaşılmıştır. Son aşamada CSR ve CRR değerleri hesaplanıp bütün derinlikler için güvenlik sayıları elde edilmiştir. Seed ve Idriss (1971) yönteminin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen teorik analizden elde edilen sonuçların karşılaştırılması amacıyla birçok sıvılaşma analiz yöntemi içeren NOVOLIQ (2020) programı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Programa sismik veriler, zemin özellikleri ve deney çeşidi girildikten sonra 9 farklı yöntem seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

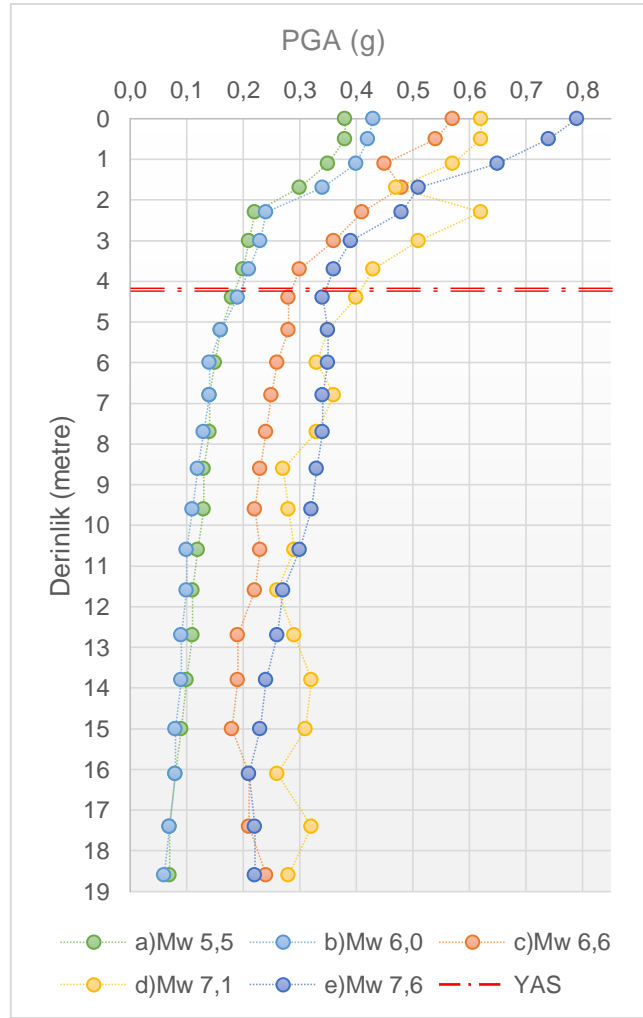
Haydarpaşa Limanı inceleme alanında yer alan sondajlarda yaklaşık her 1,50 metre için SPT yapılmıştır. SPT sonuçlarında genel olarak düşük değerler elde edilmiştir. SPT verileri, analizlerde güvenli tarafta kalacak şekilde en riskli durum seçilerek Tablo 2’de sunulan biçimde dikkate alınmıştır.

Tablo 2. SPT vuruş sayıları ve derinlikleri (Zemin Etüt Raporu, 2019)

SPT-N ₃₀								
SPT NO	Derinlik (Metre)	Sk1	Sk2	Sk3	Sk4	Sk5	Sk6	Sk-Min.
SPT1	4,50 – 4,95	1	1	1	1	1	1	1
SPT2	6,00 – 6,45	1	1	2	2	1	1	1
SPT3	7,50 – 7,95	3	3	11	2	2	3	2
SPT4	9,00 – 9,45	4	12	5	4	3	4	3
SPT5	10,50 – 10,95	14	5	4	5	14	5	4
SPT6	12,00 – 12,45	5	6	5	16	7	19	5
SPT7	13,50 – 13,95	6		5	7	10	6	5
SPT8	15,00 – 15,45					11	8	8

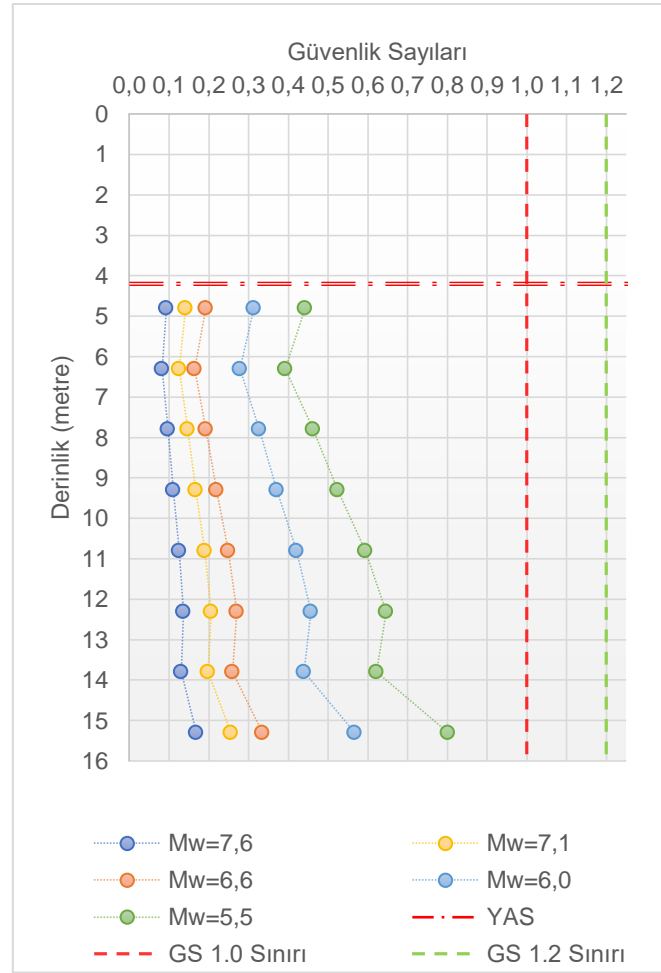


Şekil 2. DEEPSOIL (2020) programında deprem verilerinin seçimi



Şekil 3. Mw=5,5, Mw=6,0, Mw=6,6, Mw=7,1 ile Mw=7,6 için DEEPSOIL (2020) programıyla elde edilen PGA-derinlik grafiği

DEEPSOIL (2020) programı kullanılarak yapılan sismik saha analizi sonucunda PGA değerleri Mw=5,5 için 0,38 g, Mw=6,0 için 0,43 g, Mw=6,6 için 0,57 g, Mw=7,1 için 0,62 g, Mw=7,6 için 0,79 g şeklinde elde edilmiştir. İlgili alanda yeraltı suyu seviyesi 4,20 metredir. Şekil 4'te sadeleştirilmiş teorik yönteme (Seed ve Idriss, 1971) göre elde edilen güvenlik sayıları sunulmuştur.



Şekil 4. Teorik analizde elde edilen güvenlik sayıları

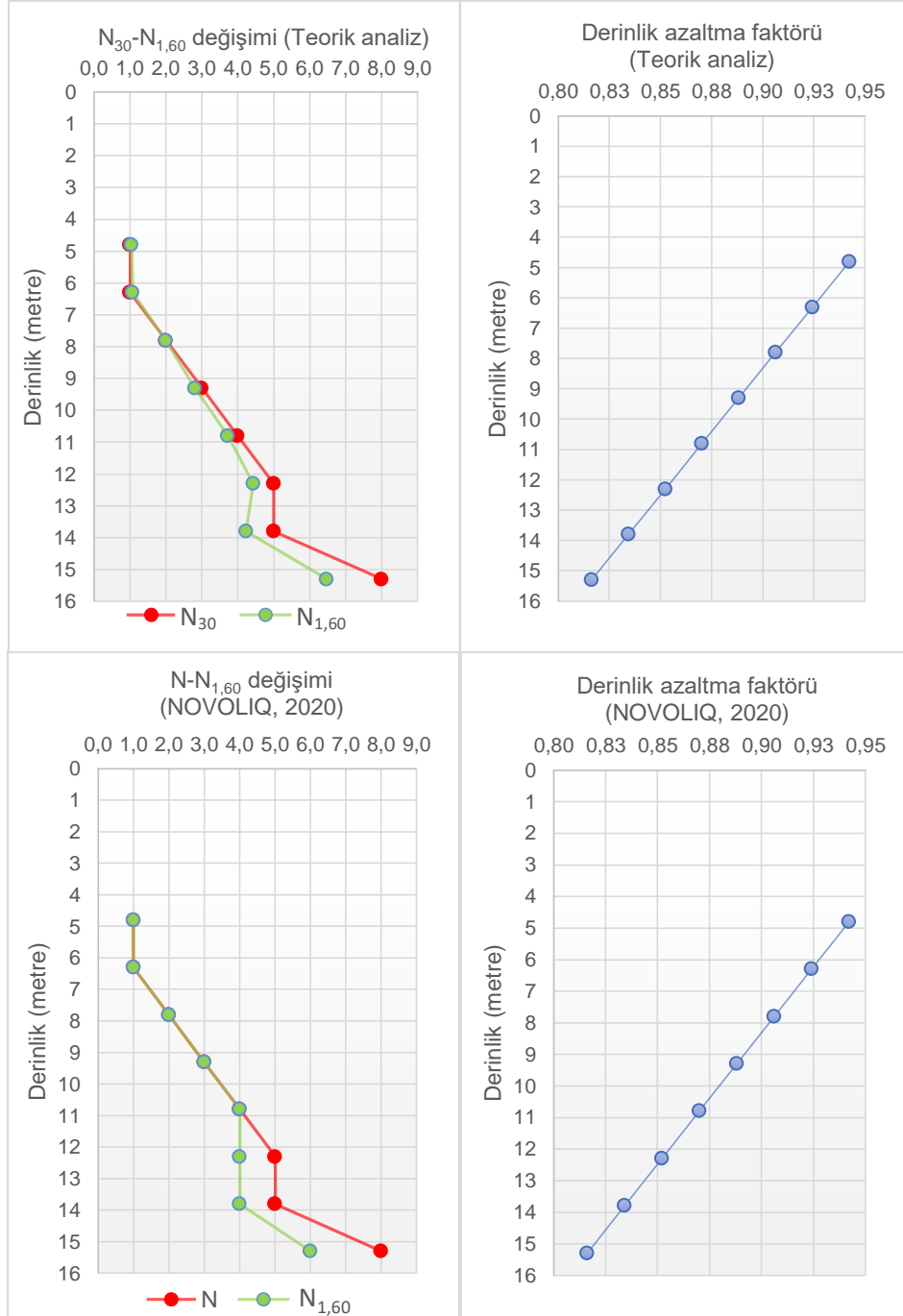
Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre yapılan teorik analizde Mw=5,5, Mw=6,0, Mw=6,6, Mw=7,1 ile Mw=7,6 deprem büyüklükleri için her bir derinlikte sıvılaşma riskinin olduğu ($G_s < 1$) sonucuna varılmıştır. Seed ve Idriss'in (1971) önerdiği sadeleştirilmiş yöntem için yapılan teorik analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla NOVOLIQ (2020) programıyla 9 farklı yöntemle sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Zemin etüt raporundan alınan veriler, düzeltme faktörleri ve deney çeşidi Şekil 1'de gösterilen biçimde NOVOLIQ (2020) programına tanımlanmıştır. Maksimum deprem ivmesi olarak sismik saha analizlerinden elde edilen PGA değerleri Mw=5,5 için 0,38 g, Mw=6,0 için 0,43 g, Mw=6,6 için 0,57 g, Mw=7,1 için 0,62 g ve Mw=7,6 için 0,79 g şeklinde ayrı ayrı girilmiştir.

Tablo 3. NOVOLIQ (2020) programı ve teorik analiz sonucu ulaşılan güvenlik sayıları

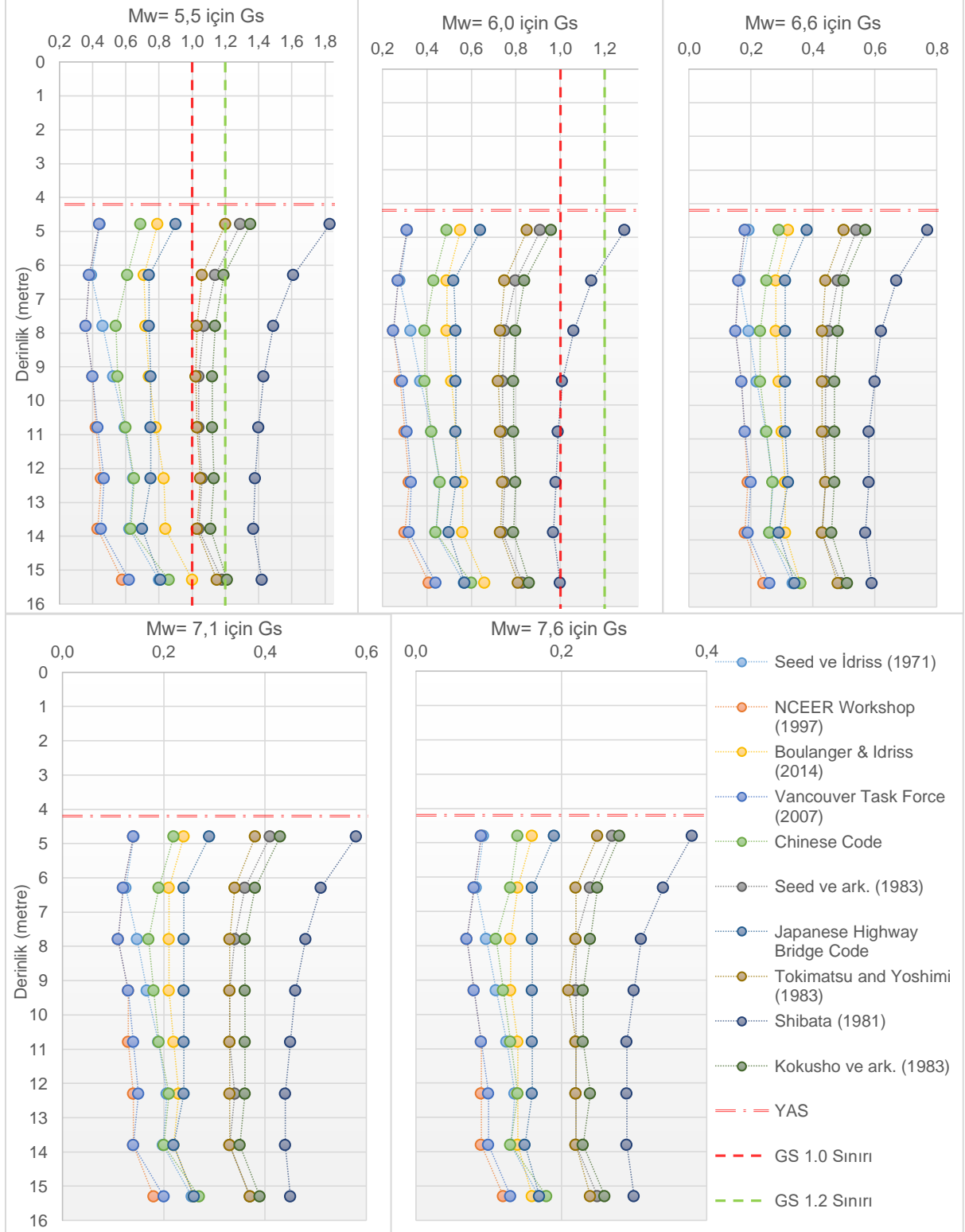
Deprem Büyüklüğü	Derinlik (m)	Güvenlik Sayısı									
		Seed ve Idriss (1971), Teorik	NCEER Workshop Youd ve ark. (1997)	Boulanger & Idriss (2014)	Vancouver Task Force (2007)	Chinese Code	Seed ve ark. (1983)	Japanese Highway Bridge Code	Tokimatsu and Yoshimi (1983)	Shibata (1981)	Kokusho ve ark. (1983)
Mw=5,5	4,80	0,44	0,44	0,79	0,44	0,69	1,29	0,90	1,20	1,83	1,35
	6,30	0,39	0,38	0,71	0,38	0,61	1,14	0,74	1,06	1,61	1,19
	7,80	0,46	0,36	0,72	0,36	0,54	1,07	0,74	1,03	1,49	1,14
	9,30	0,52	0,40	0,74	0,40	0,55	1,04	0,75	1,02	1,43	1,12
	10,80	0,59	0,42	0,78	0,43	0,60	1,04	0,75	1,03	1,40	1,12
	12,30	0,65	0,45	0,83	0,47	0,65	1,06	0,75	1,05	1,38	1,13
	13,80	0,62	0,43	0,84	0,45	0,63	1,04	0,70	1,03	1,37	1,11
	15,30	0,80	0,58	1,00	0,62	0,86	1,18	0,81	1,15	1,42	1,21
Mw=6,0	4,80	0,31	0,31	0,55	0,31	0,49	0,91	0,64	0,85	1,29	0,96
	6,30	0,28	0,27	0,49	0,27	0,43	0,80	0,52	0,75	1,14	0,84
	7,80	0,33	0,25	0,49	0,25	0,39	0,75	0,53	0,73	1,06	0,80
	9,30	0,37	0,28	0,51	0,29	0,39	0,74	0,53	0,72	1,01	0,79
	10,80	0,42	0,30	0,53	0,31	0,42	0,74	0,53	0,73	0,99	0,79
	12,30	0,46	0,32	0,56	0,33	0,46	0,75	0,53	0,74	0,98	0,80
	13,80	0,44	0,30	0,56	0,32	0,44	0,74	0,50	0,73	0,97	0,79
	15,30	0,57	0,41	0,66	0,44	0,60	0,83	0,57	0,81	1,00	0,86
Mw=6,6	4,80	0,19	0,18	0,32	0,18	0,29	0,54	0,38	0,50	0,77	0,57
	6,30	0,16	0,16	0,28	0,16	0,25	0,48	0,31	0,44	0,67	0,50
	7,80	0,19	0,15	0,28	0,15	0,23	0,45	0,31	0,43	0,62	0,48
	9,30	0,22	0,17	0,29	0,17	0,23	0,44	0,31	0,43	0,60	0,47
	10,80	0,25	0,18	0,30	0,18	0,25	0,44	0,31	0,43	0,58	0,47
	12,30	0,27	0,19	0,31	0,20	0,27	0,44	0,32	0,44	0,58	0,47
	13,80	0,26	0,18	0,31	0,19	0,26	0,43	0,29	0,43	0,57	0,46
	15,30	0,34	0,24	0,36	0,26	0,36	0,49	0,34	0,48	0,59	0,51
Mw=7,1	4,80	0,14	0,14	0,24	0,14	0,22	0,41	0,29	0,38	0,58	0,43
	6,30	0,13	0,12	0,21	0,12	0,19	0,36	0,24	0,34	0,51	0,38
	7,80	0,15	0,11	0,21	0,11	0,17	0,34	0,24	0,33	0,48	0,36
	9,30	0,17	0,13	0,21	0,13	0,18	0,33	0,24	0,33	0,46	0,36
	10,80	0,19	0,13	0,22	0,14	0,19	0,33	0,24	0,33	0,45	0,36
	12,30	0,21	0,14	0,23	0,15	0,21	0,34	0,24	0,33	0,44	0,36
	13,80	0,20	0,14	0,22	0,14	0,20	0,33	0,22	0,33	0,44	0,35
	15,30	0,26	0,18	0,26	0,20	0,27	0,37	0,26	0,37	0,45	0,39
Mw=7,6	4,80	0,09	0,09	0,16	0,09	0,14	0,27	0,19	0,25	0,38	0,28
	6,30	0,08	0,08	0,14	0,08	0,13	0,24	0,16	0,22	0,34	0,25
	7,80	0,10	0,07	0,13	0,07	0,11	0,22	0,16	0,22	0,31	0,24
	9,30	0,11	0,08	0,13	0,08	0,12	0,22	0,16	0,21	0,30	0,23
	10,80	0,12	0,09	0,14	0,09	0,13	0,22	0,16	0,22	0,29	0,23
	12,30	0,14	0,09	0,14	0,10	0,14	0,22	0,16	0,22	0,29	0,24
	13,80	0,13	0,09	0,14	0,10	0,13	0,22	0,15	0,22	0,29	0,23
	15,30	0,17	0,12	0,16	0,13	0,18	0,25	0,17	0,24	0,30	0,26

Shibata (1981), Seed ve ark. (1983), Kokusho ve ark. (1983), Tokimatsu ve Yoshimi (1983), Youd ve ark. (1997), Japanese Highway Bridge Code (2002), Vancouver Task Force (2007), Chinese Code (2010), Boulanger ve Idriss (2014) olacak şekilde toplamda 9 ayrı analiz yöntemi seçilmiştir. NOVOLIQ (2020) programı ve teorik analiz sonucu ulaşılan güvenlik sayıları Tablo 3’te sunulmuştur. Tablo 3’te belirtilen yöntemlere göre; $G_s < 1,00$ olan derinliklerde sıvılaşma olacağı beklenirken $1,00 \leq G_s < 1,20$ olan derinliklerde sıvılaşma riskinin bulunduğu ve $G_s \geq 1,20$ olan derinliklerde sıvılaşma riskinin olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Teorik analiz ve NOVOLIQ (2020) programıyla elde edilen $N_{1,60}$ ve r_d değerinin derinliğe bağlı olarak değişim grafikleri

Şekil 5'te teorik analiz ve NOVOLIQ (2020) programıyla elde edilmiş birbirine uyumlu değerlerin derinliğe bağlı $N_{1,60}$ ve r_d değerlerinin değişim grafikleri sunulmuştur. $M_w=5,5$, $M_w=6,0$, $M_w=6,6$, $M_w=7,1$ ile $M_w=7,6$ deprem büyüklükleri için tüm yöntemlere göre yapılan sıvılaştırma analizleri sonucunda güvenlik sayıları elde edilmiştir.



Şekil 6. Tüm yöntemden elde edilen G_s değerlerinin grafiksel gösterimi

$G_s=1$ ve $G_s=1.2$ sınırlarına göre; $G_s<1,00$ olan derinliklerde sıvılaşma olacağı, $1,00\leq G_s<1,20$ olan derinliklerde sıvılaşma riskinin bulunduğu ve $G_s\geq 1,20$ olan derinliklerde sıvılaşma riskinin olmadığı Şekil 6’da görülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Haydarpaşa Limanı çevresi için gerçek deprem senaryoları kullanılarak teorik yöntem ve bilgisayar programları aracılığı ile çalışılan alanın sıvılaşma potansiyeli 10 farklı yöntemle incelenmiştir. İnceleme alanının sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilebilmesi için DEEPSOIL (2020) programı kullanılarak gerçekleştirilen sismik saha analizlerinde $M_w=5,5$, $M_w=6,0$, $M_w=6,6$, $M_w=7,1$ ve $M_w=7,6$ büyüklüklerindeki depremlerin verileri (sırasıyla Bolu-Düzce1, Çankırı-Orta, İzmir-Seferihisar, Bolu-Düzce2 ve İzmit-Gölcük)) kullanılarak doğrusal olmayan yöntem seçilip her bir deprem büyüklüğü için PGA değerleri ayrı ayrı elde edilmiştir. İnceleme alanı için sadeleştirilmiş teorik yöntemle beraber NOVOLIQ (2020) programı kullanılarak toplamda on farklı yöntem için sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş olup ulaşılan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada sunulan analizlerin sonucunda $M_w=6,6$, $M_w=7,1$ ile $M_w=7,6$ deprem büyüklükleri için bütün derinliklerde sıvılaşmanın beklendiği belirlenmiştir.

$M_w=6,0$ deprem büyüklüğünde Shibata (1981) yöntemi için yapılan analiz sonucunda sadece 4,80 metrede sıvılaşma beklenmemektedir. Geri kalan bütün yöntemlerin tüm derinlikleri için sıvılaşma riski bulunmakta ya da sıvılaşma durumu beklenmektedir.

$M_w=5,5$ deprem büyüklüğünde Shibata (1981) yöntemi ile yapılan analiz için bütün derinliklerde sıvılaşma beklenilmemektedir. Kokusho ve ark. (1983) yöntemi ile yapılan analiz için 4,80 metre ve 15,30 metrede sıvılaşma beklenilmemektedir. Seed ve ark. (1983) yöntemi için yapılan analiz sonucunda 4,80 metrede sıvılaşma beklenilmemektedir. Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemi için yapılan analiz sonucunda 4,80 metrede sıvılaşma beklenilmemektedir. Geri kalan tüm yöntemlerin bütün derinlikleri için sıvılaşma riski bulunmakta ya da sıvılaşma durumu beklenmektedir.

Bu çalışmada, en riskli senaryolar dikkate alınmış olup kullanılan bütün yöntemlerin analiz sonuçları çoğul durum gözetilerek birlikte değerlendirildiğinde, belirtilen büyüklüklerdeki depremler için inceleme alanındaki tüm derinliklerde sıvılaşma riskinin söz konusu olduğu veya sıvılaşmanın beklendiği belirlenmiştir. Araştırılan alan için meydana gelmiş depremlerin bilgisayar programları aracılığıyla simüle edilerek sıvılaşma analizlerinin yürütülmesi yaklaşımı, gerçek duruma yakın analizlerin yapılmasını sağladığından ilgili yaklaşımın bu tip sıvılaşma analizleri için yol gösterici bir nitelik taşıdığı kanısına varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada yapılan analizler için, 21020 nolu lisansüstü tezi bilimsel araştırma projesi ile gerekli desteği sağlayan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne (HÜBAP) ve

çalışılan alan için gerekli zemin verilerini sağlayıp kullanma izni sunan İstanbul Zemin Sondaj Müh. İnş. San. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. şirketine 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

- Ansar A. Depremlerde yerel zemin davranışları. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi 1999; 384: 64-68.
- Boulanger RW., Idriss IM. CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Report No: UCD/CGM.-14, 1, 2014, sayfa no:138, Davis, CA.
- Chinese Code. Code for seismic design of buildings-GB 50011-2010. National Standard of the People's Republic of China, China Architecture and Building Press, 2010, Beijing.
- Çıklalıbliççi P. Depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve sonrasında meydana gelen deplasmanların belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:1, Kayseri, Türkiye, 2019.
- Hakan T. Zeminlerin sıvılaşmasının tahmini için istatistik ve yapay zekaya dayalı modeller oluşturma. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:1, Kayseri, Türkiye, 2019.
- Hashash YMA., Musgrove MI., Harmon JA., Ilhan O., Xing G., Numanoglu O., Groholski DR., Phillips CA., Park D. DEEPSOIL 7.0-user manual. IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, 2020.
- Japan Road Association. Design specifications for highway bridges. Part V, Seismic Design, 2002, Tokyo:Maruzen, Japanese.
- Kayen RE., Mitchell JK., Seed RB., Lodge A., Nishio S., Countinho R. Evaluation of SPT-CPT and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using loma prieta data. Proceedings, Fourth Japan-US, Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, Technical Report NCEER-92-0019, M. Hamada and T.D. O'Rourke, (Eds.), Honolulu, Hawaii, Buffalo, NY 1992; 1: 177-204.
- Kokusho T., Yoshida Y., Esashi Y. A study on a seismic stability of dense sand (part 2)-evaluation method based on SPT N-value. Technical Report of Central Research Institute of Electric Power, Research Report No: 383026, 1983; 1-32, Japanese.

- Liao SSC., Whitman RV. Overburden correction factor for SPT in sand. *Journal of Geotechnical Engineering* 1986; 3: 373-377.
- Mollamahmutoğlu M., Kayabalı K. *Geoteknik deprem mhendisliği el kitabı*. Ankara: Gazi Kitapevi; 2004.
- Novo Tech Software. NOVOLIQ, versiyon 4.0, kullanım kılavuzu. sayfa no:3-27. Vancouver, Kanada, 2020.
- ztrk S. Sıvılaşmaya karşı jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi: samsun-tekkeky rneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:18-19, Trabzon, Türkiye, 2016.
- Seed HB., Idriss IM. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE* 1971; 97(9): 1249-1273.
- Seed HB., Idriss IM., Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *Journal of Geotechnical Engineering* 1983; 109(3): 458-482.
- Seed HB., Tokimatsu K., Harder LF., Chung R. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering ASCE* 1985; 111(12): 1425-1445.
- Shibata, T. Relations between n-value and liquefaction potential of sand deposits. In *Proc, 16th Annual Convention of Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* 1981; pp:621-624, Tokio.
- Skempton AW. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. *Geotechnique* 1986; 36(3): 425-447.
- Task Force Report. *Geotechnical design guidelines for buildings on liquefiable sites in accordance with NBC 2005 for greater vancouver region*. 2007.
- Tang L., Man X., Zhang X., Bhattacharya S., Cong S., Ling X. Estimation of the critical buckling load of pile foundations during soil liquefaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2021; 146, 106761.
- Tokimatsu K., Yoshimi Y. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT n-value and fines content. *Soils and Foundations* 1983; 23(4): 56-74.
- TS EN ISO 22475-1. *Jeoteknik ett ve deneyler - numune alma yöntemleri ve yeraltı suyu ölümleri - bölüm 1: teknik uygulama esasları*. Türk Standartları Enstitüsü, 2006, sayfa no:114, Ankara.
- Youd TL., Idriss IM. *Proceeding of the NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils*. State University of New York at Buffalo, National Center for Earthquake Engineering Research, Report No: NCEER-97-0022, 1997, New York.
- Youd TL., Idriss IM., Andrus RD., Arango I., Castro G., Christian JT., Dobry R., Finn WDL., Harder JrLF., Hynes ME., Ishihara K., Koester JP., Liao SSC., MarcusonIII13 WF., Martin GR., Mitchell JK., Moriwaki Y., Power MS., Robertson PK., Seed RB., StokoeII KH. Liquefaction resistance of soils. Summary Report from the NCEER and NSF Workshops, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 2001; 127(10): 817-833.

Zhang Y., Xie Y., Zhang Y., Qiu J., Wu S. The adoption of deep neural network (DNN) to the prediction of soil liquefaction based on shear wave velocity. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 2021; 80(6): 5053-5060.

Zemin Etüt Raporu. Haydarpaşa 5 numaralı bina (eski liman ve gümrük binası) parsel bazında zemin ve temel etüdü veri raporu. İstanbul İli Kadıköy İlçesi Rasim Paşa Mahallesi 54 Pafta 240 Ada 16 Parsel, Rapor No:İZ0319, Tarih: 13.03.2019, 2019.

Determination of Relative Feed Value, Energy and Nutrient Contents of Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)**

Emre KÜTÜK¹, Gürkan SEZMİŞ², Esra GÜRSOY^{3*}

¹Erzincan Directorate of Provincial Agriculture and Forestry

²Department of Animal Science, Agricultural Faculty, Atatürk University

³Celal Oruç Animal Production College, Ağrı İbrahim Çeçen University

¹<https://orcid.org/0000-0001-5512-5191>

²<https://orcid.org/0000-0001-8114-2729>

³<https://orcid.org/0000-0002-4697-7365>

*Correspondence author: egursoy@agri.edu.tr.

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 15.11.2021

Accepted: 14.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Annual ryegrass (*Lolium multiflorum* lam.)

Chemical composition

Relative feed value

Net energy lactation

Metabolizable energy

This study was carried out to determine the effect of the number of harvests on the feed value of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). The annual ryegrass grown in a private family farm in Hürrempalangası Village, Erzincan was used as the research material. The ryegrass was harvested twice in the experimental period. The plants harvested in the flowering period were baled, and samples were collected using a drill and probe. The samples were analyzed according to the harvest time in terms of chemical content, metabolizable energy (ME), net energy lactation (NEL), total digestible nutrients (TDN), and relative feed value (RFV). The obtained data were subjected to analysis of variance, and the differences between the means were determined by T comparison test. The difference between the plants harvested in different periods was significant in terms of nutrient contents ($p<0.05$). The NEL, ME, and TDN contents were calculated using the nutrient composition of the ryegrass. The difference between the harvests in terms of TDN and RFV was found significant ($p<0.01$). The means related to CP, RFV, NEL, ME, and TDN contents of the annual ryegrass were found to be 12.74% and 18.72%, 111.56 and 98.79, 1593.9 and 1589.4 Kcal/kg DM, 2352.2 and 2345.5 Kcal/kg DM, and 59.19% and 57.02% in the first and second harvest, respectively. In conclusion, chemical composition and RFV parameters of the annual ryegrass, it can be asserted that the annual ryegrass has a high potential as a forage source and may be used in ruminant rations.

Tek Yıllık Çim (*Lolium multiflorum* Lam.) Yem Bitkisinin Nispi Yem Değeri, Enerji ve Besin İçeriğinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 15.11.2021

Kabul tarihi: 14.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* lam.)

Kimyasal kompozisyon

Nispi yem değeri

Metabolik enerji

Net enerji laktasyon

ÖZ

Bu çalışma, hasat sayısının tek yıllık çim (*Lolium multiflorum* Lam.) yem değerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma materyali olarak Erzincan ili Hürrempalangası Köyü'ndeki özel bir aile çiftliğinde yetiştirilen tek yıllık çim kullanılmıştır. Tek yıllık çim deneme döneminde iki kez hasat edilmiştir. Bitkiler çiçeklenme döneminde hasat edildikten ve balyalandıktan sonra matkap ve sonda kullanılarak numuneler alınmıştır. Numunelerin hasat zamanına göre kimyasal içerikleri ile metabolik enerji (ME), net enerji laktasyon (NEL), toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSBM) ve nispi yem değeri (NYD) parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklar T testi ile tespit edilmiştir. Farklı dönemlerde hasat edilen bitkiler besin madde içerikleri

açısından meydana gelen farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$). NE_L , ME ve TSBM içerikleri, çim otunun besin madde bileşimleri kullanılarak hesaplanmıştır. TSBM ve NYD açısından hasatlar arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0.01$). Tek yıllık çimin birinci ve ikinci hasatta ortalama HP, NDF, NEL, ME ve TSBM içerikleri sırasıyla; %12,74 ve %18,72, 111,56 ve 98,79, 1593,9 ve 1589,4 Kcal/kg DM, 2352,2 ve 2345,5 Kcal/kg DM ve %59,19 ve %57,02 olmuştur. Sonuç olarak, kimyasal bileşimi ve NYD parametreleri dikkate alındığında yüksek bir yem kaynağı potansiyeline sahip olan tek yıllık çimin kaba yem kaynağı olarak ruminant rasyonlarında kullanılabileceği söylenebilir.

To Cite: Küçük E., Sezmiş G., Gürsoy E. Determination of Relative Feed Value, Energy and Nutrient Contents of Annual Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1172-1183.

1. Introduction

Forages account for a significant part of the feeds of the animals which are the main source of protein in the nutrition of humans. Forages are produced from the natural or artificial meadows and the forage plants.

The economic value of the culture of forage plants reveals itself especially in the animal production materials. The products produced from the animals fed with the forages with high nutritive value have a high quality, and they also have a great importance for the human life and the economy of a country. Forage production is necessary and very important for feeding ruminants. Diets for productive ruminants usually comprise two different types of feed: forages and concentrates. Forages partly meet the nutrient needs of the animals and protect them against certain diseases. Necessary importance should be given to the cultivation of forage plants for an efficient and profitable animal production, and the cultivated areas should be extended. One of the easiest ways for meeting the feed needs of the animals is the agriculture of forage plants across the country and in Erzincan. Therefore, it is of great significance for the forage production facilities to meet the needs of the animal production facilities in Erzincan (Gürsoy, 2013). Production of forage crops is too low and insufficient to meet the needs of ruminants. The cultivation area of forage plants has a size of 207.178 decares in the center of Erzincan and 556.638 decares in its districts (TUİK, 2017a). Erzincan has an important potential in the animal sector with 93,076 big ruminants and 417,074 small ruminants (TUİK, 2017b).

There are many problems waiting for a solution in the ruminant livestock of Turkey today. The most urgent and important one is the inability to provide sufficient forages for ruminant feeding. It is highly necessary that good quality feed and mixed feed resources be used in the rations and the environmental factors be improved to be able to get efficiency from the ruminants in line with their genetic capacities (Baylan, 2007). For these reasons, the field agriculture should include new quality roughages.

Annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) is one of the important species that have recently been cultivated for forage (Özdemir et al., 2019). Annual species are taller (40-100 cm) and more productive than the perennial ones. Ryegrass, a forage plant with a short life, has a good grass quality.

It is unique in that it can grow rapidly and be re-harvested. It adapts to all kinds of soils, leaves the intensive organic substances to the soil, and is preferred in alternate plantation. It can grow well in both heavy and sandy soils. However, it shows its best growth in the soils very well processed and supported with animal fertilizers. It is widely used in the production of silage and dry grass. In addition, it is so common as the 2nd product after cereals. It has very high protein and energy values (Aktar et al., 2021). It is sugary and easy-digestible; therefore, animals eat it pleasurably and hungrily. It grows in fall and spring in the regions where it snows and hibernates in winter (Soya et al., 1997; Lale, 2020). In Turkey, the production of this plant species has recently become the new favorite of the producers with the agricultural incentives provided by the state in order to increase the production of feed plants (Baytekin et al. 2009). Katiç et al. (2009) examined the differences between 4 different alfalfa varieties in terms of crude protein, ADF, and NDF in Serbia in 2005 and 2006. They reported that there were significant differences between the harvests, but not between the varieties. It has been reported in the literature that the metabolizable energy (ME) content of Italian grass varies between 7.15 and 11.8 MJ kg⁻¹ DM and this range changes depending on the factors such as season, soil type, and planting time (Colf, 2010). In their study on three different forms of Caramba plant (fresh, silage, and hay), Özelçam et al. (2015) reported that the HP content was between 12.83% and 8.91%, the NDF content between 57.41% and 63.70%, the ADF content between 35.32% and 43.29%, and the ADL content between 5.55% and 8.86%. They also reported that the DM and organic matter (OM) digestibility of three different forms were within the ranges of 73.01-79.58% and 74.44-81.37%, respectively, and there was no significant difference between three different forms in terms of these two parameters. As a result of the study, they asserted that the Caramba could be used as a source of roughage in the forms of fresh, silage, and hay in ruminant feeding.

In their research, McCormick et al. (2008) mowed forkgrass, bermuda grass, ryegrass, and sorghum grass and fed them to dairy cows and calves. They reported that the best yield increase was achieved with ryegrass. However, it lagged behind others in terms of milk fat. In order to grow quality plants, rations should be prepared in a balanced way considering the feed values depending on the harvest times. Thus, the desired level can be obtained in animal products, and metabolic diseases caused by unbalanced rations can be prevented.

This study was conducted to determine the chemical composition, relative feed value, net energy lactation, metabolizable energy parameters, and total digestible nutrients (*Lolium multiflorum* Lam.) of annual ryegrass depending on the number of harvests.

2. Material and Methods

Annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), the feed material of the study, was harvested in a 5-decare agricultural field in Hurrempalangası Village (39 475832N, 39 215618E), Erzincan. The seeds of the annual ryegrass were sown using a sowing machine with a seed density of 5 kg seeds per decare at a row spacing of 15 cm with a depth of 1.5-2 cm, and then a roller passed over them. 25 kg of

compound fertilizer containing nitrogen, phosphorus, and potassium in equal proportions (15:15:15) was applied to the base. After the first harvest, nitrate fertilizer was applied at 15 kg/da. The seeds were sown on October 28, 2016 and their growth was monitored during the study. When their height reached 70-80 cm in the flowering period, the annual ryegrass plants were harvested two times using a drummed mower on June 23, 2017 and August 03, 2017. Surface irrigation was performed 2 weeks after the sowing and after every harvest. After each harvest, the plants were baled (rectangular) under suitable conditions. 0.5 kg feed sample was collected from 10 roughage bales using a drill and probe, and then the samples were put in the cloth bags tagged with the harvest date and sample number. The feed samples collected for each harvest were brought to the Feed Analysis Laboratory, Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Atatürk University. They were ground to pass through a 1 mm sieve, put in transparent plastic bags, tagged, and left for further analysis (Canbolat and Karaman, 2009; Gürsoy and Macit, 2017; Ayaşan et al., 2020a).

In the present study, the feed samples were burnt by keeping in an ash furnace at 550 °C for 4 hours after drying in an oven at 105 °C. Then, they were cooled down, and their crude ash (CA) contents were determined. Firstly, the nitrogen (N) contents of the feed samples were determined using Kjeldahl method, and then, the determined nitrogen values were multiplied by 6.25 and the crude protein (CP) contents were calculated. Ether extract (EE) analysis was conducted in line with the method specified in AOAC (1990). Crude fiber (CF), Neutral Detergent Fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) contents were determined using an ANKOM 200 Fiber Analyzer in line with the method reported by Van Soest et al. (1991). Chemical analyses (DM, CP, EE, CA) and the analyses of cell wall structural elements (NDF and ADF) of the feed samples were carried out in five replications. RFV, ME, and NE_L values of the feeds were calculated using the following equations. The total digestible nutrient (TDN) content was calculated according to the methods of Moore and Undersander (2002).

$$\text{DMD}\% = 88.9 - (0.779 \times \text{ADF } \%), \text{DMI } \% = 120 / \text{NDF},$$

$$\text{RFV} = \text{DMD } \% \times \text{DMI } \% \times 0.775 \text{ (Van Dyke and Anderson, 2000),}$$

$$\text{NE}_L, \text{ME (Mcal/Kg DM)} = 0.82 \text{ DE and NE}_L \text{ (Mcal/Kg DM)} = 0.5557 \text{ DE} - 0.12$$

$$\text{ME} = 3303 + 96.08 \text{ EE}\% - 37.05 \text{ CF } \% - 32.27 \text{ CA } \% \text{ (Abaş et al., 2005).}$$

Statistical analyses

The obtained data were subjected to analysis of variance using SPSS 12.0 package program and the differences between the means were determined by T comparison test (Petrie ve Watson, 1999).

3. Results and Discussion

3.1. Chemical composition of the annual ryegrass

The nutrient composition of the annual ryegrass was determined depending on the number of harvests. Table 1 shows the DM, CA, EE, CP, CF, NDF, and ADF contents of the annual ryegrass.

Table 1. Chemical composition of the annual ryegrass by the number of harvests, % (in DM).

Harvest Number	Dry Matter	Crude Ash	Ether Extract	Crude Protein	ADF	NDF	Crude Fiber	NFE	Hemicellulose
First harvest	93.43	17.64	4.91	12.74	30.86	54.05	23.04	35.08	23.09
Second harvest	92.69	13.93	4.49	18.72	33.75	58.96	25.12	30.53	25.21
SEM	1.05	0.14	0.16	0.32	0.25	0.41	0.16	1.18	0.27
P	NS	**	*	**	**	**	**	*	**

NDF: Neutral Detergent Fiber, ADF: Acid Detergent Fiber, NFE: N-free Extract, SEM: Standard Error of Mean, *: P<0.05, **: P<0.01, NS: Not Significant

The DM content of the annual ryegrass was found to be 93.43% in the first harvest and 92.69% in the second harvest. No significant difference was found to exist between the first and second harvest in terms of DM content ($P>0.05$). The DM contents found in the present study were higher than those reported by Karakurt and Ekiz (1996), Göktepe (2015), and Özelçam et al. (2015), but similar to those reported by Gürsoy and Macit (2017).

The CA content of the annual ryegrass was found to be 17.64% in the first harvest and 13.93% in the second harvest. The difference between the first and second harvest was significant in terms of CA content ($P<0.01$). This result was similar to those reported in the literature (Akgün et al., 2008; Barchiesi-Ferrari et al., 2011; Kuşvuran, 2011; Göktepe, 2015; Gürsoy and Macit, 2017).

The EE content of the annual ryegrass was found to be 4.91% in the first harvest and 4.49% in the second harvest. The difference between the first and second harvest was significant in terms of EE content ($P<0.05$). The EE contents found in the present study were higher than those reported in the literature (Göktepe, 2015; Özelçam et al., 2015; Gürsoy and Macit, 2017). We are of the opinion that this was caused by the differences between the present study and other studies in terms of soil structure, climate, and plant variety.

The CP content was found to be 12.74% in the first harvest and 18.72% in the second harvest. There was a significant difference between the first and second harvest in terms of CP content ($P<0.01$). The CP contents found in the present study were similar to those reported by Serin et al. (1996), Barchiesi-Ferrari et al. (2011), Kuşvuran (2011), Kuşvuran and Tansı (2011), Göktepe (2015), and Kara (2016); lower than those reported by Dovel et al. (1999), Meeske et al. (2009), and Teutsch and Smith (2001); and higher than those reported by Akgün et al. (2008), Çarpıcı and Çelik (2014), Kuşvuran et al. (2014), Şimşek (2015), Kavut and Geren (2018), Özdemir et al. (2019), and Türk et al. (2019). These differences may be due to the differences in environmental conditions and fertilizers.

As for the cell wall structural elements, the ADF content of the annual ryegrass samples was found as 30.96% and 33.75%, NDF content as 54.5% and 58.96%, CF content as 23.04% and 25.12%, NFE

content as 35.08% and 30.53%, and hemicellulose content as 23.09% and 25.21% in the first and second harvest, respectively. While a decrease was observed in the DM, CA, EE, and NFE contents in the second harvest compared to the first harvest, an increase was observed in the CP, ADF, NDF, and hemicellulose contents. Kavut and Geren (2018) reported that ADF and NDF contents increased due to delaying harvest dates.

The difference between the first and second harvest of the annual ryegrass was significant in terms of ADF content ($P < 0.01$). The ADF contents found in the present study were in agreement with those reported by Dovel et al. (1999), Meeske et al. (2009), Kara (2016), and Gürsoy and Macit (2017); lower than those reported by Barchiesi-Ferrari et al. (2011), Çarpıcı and Çelik (2014), Kuşvuran et al. (2014), Özelçam et al. (2015), and Gemalmaz and Bilal (2016); and higher than those reported by Teutsch and Smith (2001).

It was found that the NDF content of the annual ryegrass was 58.96% in the first harvest and 54.05% in the second harvest. There was a significant difference between the harvests in terms of NDF content ($P < 0.01$). The ADF contents found in the present study were similar to those reported by Kuşvuran et al. (2014) and Gürsoy and Macit (2017); lower than those reported by Dovel et al. (1999), Teutsch and Smith (2001), Meeske et al. (2009), Özelçam et al. (2015), and Kara (2016); and higher than those reported by Barchiesi-Ferrari et al. (2011), Çarpıcı and Çelik (2014), and Gemalmaz and Bilal (2016). Şimşek (2015) examined the yield and quality characteristics of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under the conditions of Kırşehir and reported that the ADF and NDF contents were 39.66% and 59.67%, respectively.

Göktepe (2015) examined the annual ryegrass grown in the Black Sea climate at 5 harvest times in one season and reported that the mean contents of DM, CP, CS, EE, ADF, NDF, ADL, and ME were 91.52%, 17.39, 28.30, 2.28, 30.26, 49.95, 3.96, and 10.32 MJ/kg, respectively. Kavut and Geren (2018) investigated the yield and quality characteristics of different mixtures of ryegrass and hairy vetch at different harvest times under the conditions of Izmir and reported that the ADF and NDF contents increased with the delay in harvest time, and the CP content increased as the legume ratio increased in the mixture. Özdemir et al. (2019) investigated the effects of different nitrogen doses on the yield and quality of ryegrass under the conditions of Bursa and reported that nitrogen fertilization in irrigated conditions increased the yield and quality of the ryegrass. The difference between the present study and other studies in terms of chemical contents may be due to the differences in harvest times, vegetation periods, climates, soils, and plant diversities.

3.2. Digestible dry matter, dry matter intake, and relative feed value of the annual ryegrass

Relative feed value is an important tool for marketing the forages and determining their quality (Rohweder et al., 1978; Moore, 1994). Relative Feed Value is based on the assumption that alfalfa hay in full bloom (41% ADF and 53% NDF) has an RFV of 100. As the RFV falls below 100, the quality of the feed decreases, and vice versa (Redfearn et al., 2006). RFVs below 75 refer to the 5th quality,

75-86 to the 4th quality, 87-102 to the 3rd quality, 103-124 to the 2nd quality, 125-150 to the 1st quality (Rohweder et al., 1978).

Table 2 shows the DDM, DMI, and RFVs of the annual ryegrass in the first and second harvest.

Table 2. The digestible dry matter, dry matter intake, and relative feed value of the annual ryegrass.

Harvest number	DMI (%)	DDM (%)	RFV
First harvest	2.22	64.79	111.56
Second harvest	2.04	62.62	98.79
SEM	0.02	0.19	1.09
P	**	**	**

DMI: Dry Matter Intake, DDM: Digestible Dry Matter, RFV: Relative Feed Value, SEM: Standard Error of Mean, **: P<0.01

DMD, DMI, and RFV of the feed samples were calculated using the cell wall structural elements. It was found that there were significant differences between the first and second harvest in terms of DMI, DDM, and RFV (P<0.01). The DDM, DMI, and RFV of the annual ryegrass were found to be lower in the second harvest than in the first harvest.

The DMI of the annual ryegrass was calculated as 2.22% in the first harvest and 2.04% in the second harvest. The DDM of the annual ryegrass was found to be 64.79% in the first harvest and 62.62% in the second harvest. In a previous study, the DDM and DMI of the caramba variety of ryegrass harvested in five different periods were reported as 65.32% and 2.42% on average, respectively (Göktepe, 2015). Kara (2016) reported the DDM as 64.18% and Çetin (2017) as 61.6%. Lale (2020) examined the yield and quality characteristics of Italian ryegrass varieties grown under the ecological conditions of Bingöl and reported that the average DDM and DMI were 58.32% and 2.02%, respectively. The differences between similar studies are due to the different ADF and NDF values.

RFV of the annual ryegrass was calculated as 111.56 in the first harvest and 98.79 in the second harvest. These values were in agreement with those reported by Çolak (2015) and Gürsoy and Macit (2017); lower than those reported by Kuşvuran et al. (2014); and higher than those reported by Dovel et al. (1999), Göktepe (2015), Kara (2016), and Lale (2020). In the present study, when the RFV (111,56) calculated for the first harvest of the annual ryegrass was compared with the RFV of 100, the value accepted as the normal for *Medicago sativa*; it can be classified as high quality. On the other hand, the RFV (98.79) found for the second harvest was similar to the normal RFV for *Medicago sativa*. Çolak (2015) reported that 8 kg/da of nitrogen dose should be used in the ryegrass cultivation under the conditions of Ankara in order to have a high yield and RFV. Lale (2020) investigated the

feed value of 6 varieties of ryegrass under the ecological conditions of Bingöl and reported that the highest RFV was found in the variety Vallinert. The differences between similar studies may be due to the differences in the cultivars used and the ecologies in which the studies were conducted. Moreover, growing conditions and genotypic differences create differences in ADF, NDF, and RFV values.

3.3. Net energy lactation, metabolizable energy, and total digestible nutrients of the annual ryegrass

Net energy lactation (NE_L) is an energy evaluation system that is calculated using the metabolizable energy of the forages and the regression equations between the metabolizable energy value and the digestible nutrients, especially based on the studies on dairy cows. Because forages can be digested by ruminants at a certain level, their ME contents are very important. The energy lost with the methane gas is taken into consideration in calculating ME in ruminants (Kutlu, 2008). TDN, which is related to ADF concentration, refers to the nutrients available for livestock (Yavuz et al., 2017).

Table 3 shows the net energy lactation, metabolizable energy, and total digestible nutrients of the annual ryegrass.

Table 3. Net Energy Lactation (Kcal/Kg DM), Metabolizable Energy (Kcal/Kg DM), and Total Digestible Nutrients of the Annual Ryegrass.

Harvest number	NE _L	ME	TDN
First harvest	1593.9	2352.2	59.19
Second harvest	1589.4	2345.5	57.02
SEM	10.63	15.68	0.19
P	NS	NS	*

NE_L: Net Energy Lactation, ME: Metabolizable Energy, TDN: Total Digestible Nutrients, SEM: Standard Error of Mean, *: P<0.05, NS: Not Significant

No difference was found to exist between the first and second harvest of the annual ryegrass in terms of NE_L and ME (P>0.05), but TDN was affected by the harvest number (P<0.01). TDN values of the annual ryegrass were calculated as 59.19% in the first harvest and 57.02% in the second harvest. Yavuz et al. (2017) reported the TDN of annual ryegrass lines as 57.97% on average, which is similar to the result found in the present study.

NE_L and ME values found in the current study were lower than those reported by Özelçam et al. (2015) and Gürsoy and Macit (2017). This difference may be due to the differences between the studies in terms of harvest time, vegetation period, climate, soil, and plant species (Eseceli et al., 2020; Ayaşan et al., 2020b).

4. Conclusion

As a result, it was observed that the first harvest of the ryegrass yielded higher values than the second harvest in all parameters except for the cell wall elements. When the chemical composition, RFV, NE_L, ME, and TDN values of the annual ryegrass are evaluated together, it can be asserted that the ryegrass can be grown without hesitation under the climate conditions of Erzincan and be an alternative forage crop. While preparing the rations, it is necessary to take into account the harvest time of ryegrass. Widespread cultivation of ryegrass can help eliminate the deficit in quality roughage for the nutrition of ruminants.

Statement of Conflict of Interest

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

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

** Part of the data in this article was held in the IV. It was presented as a paper at the International Conference on Developments in Basic and Application Sciences

References

- Abaş İ., Özpınar H., Kutay HC., Karaman R. Determination of the metabolizable energy (ME) and net energy lactation (NEL) contents of some feeds in the marmara region by in vitro gas technique. *Turk Journal Veterinary Animal Sci* 2005; 29: 751-757.
- Akgün İ., Tosun M., Şengül S. Comparison of agronomic characters of festulolium, *Festuca pratensis* huds. and *Lolium multiflorum* Lam. genotypes under high elevation conditions in Turkey. *Bangladesh J. Bot* 2008; 37(1): 1-6.
- Aktar Y., Polat T., Okant M., Kurt İ. Single annual forage italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) determination of some properties in the type of plant. *ISPEC Journal of Agr. Sciences* 2021; 5(1): 193-201.
- AOAC. Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemist spp. 66-88. 15th.edition Washington, DC. USA. 1990.
- Ayaşan T., Çetinkaya N., Aykanat S., Çelik C. Nutrient contents and in vitrodigestibility of different parts of corn plant. *South African Journal of Animal Sci* 2020a; 50(2): 302-309.
- Ayaşan T., Sucu E., Ülger İ., Hızlı H., Cubukcu P., Özcan BD. Determination of *in vitro* rumen digestibility and potential feed value of tiger nut varieties. *South African Journal of Animal Sci.* 2020b; 50(5): 738-744.

- Barchiesi-Ferrari C., Alomar D., Miranda H. Pepsin-cellulase digestibility of pasture silage: Effect of pasture type, maturity stage, and variations in the enzymatic method. *Chilean J. Agric. Res.*, 2011; 71(2): 249-257.
- Baylan D. Koçlarda tahin üretim artışı susam kabuklarının yem değerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniv., Antalya, 2007.
- Baytekin H., Kızılsimşek M., Demiroğlu G. Grass and split types editor: R. Avcıoğlu, R. Hatipoğlu, Y. Karadağ. Forage Crops General Section Volume III. Ministry of Agriculture and Rural Affairs General Directorate of Agricultural Production and Development, Izmir, p. 561-572. 2009.
- Canbolat Ö., Karaman Ş. Comparison of in vitro gas production, metabolizable energy, organic matter digestibility and microbial protein production of some legume hays. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 2009; 15(2): 188-195.
- Colf JVD. The production potential of Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures over-sown with ryegrass (*Lolium spp.*). Master Thesis Study, University of Pretoria, 42-67 South Africa. 2010.
- Çarpıcı EM., Çelik N. Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops* 2014; 19(1): 66-69.
- Çetin R. Determined of forage yield and quality effects in annual ryegrass (*Lolium Multiflorum L.*) nitrogen fertilizer under Kazova-Tokat ecological conditions. Master Thesis, Gaziosmanpaşa University, Institute of Science, Tokat. 2017.
- Çolak E. The effect of different nitrogen fertilizer doses on yield, quality and some agricultural traits of italian ryegrass (*Lolium italicum L.*) cultivars. Ph.D. Thesis, Ankara University, Institute of Science, Ankara. 2015.
- Dovel RL., Rainey J., Charlton BA. Effects of planting date and variety on annual ryegrass performance. In the Klamath Basin. *Research in the Klamath Basin*, 1999 Annual Report, 70-76. 1999.
- Eseceli H., Ayaşan T., Esen VK., Esen S. Nutrient and mineral contents, and in vitro digestibility of kermes oak (*Quercus coccifera L.*) and mock privet (*Phillyrea latifolia L.*). *Alinteri J. of Agr. Sci.* 2020; 35(29): 100-106.
- Gemalmaz E., Bilal T. Alternative roughage sources. *Lalahan Cabbage Livestock Research Institute*, 2016; 56(2): 63-69.
- Göktepe AE. Determination of relative feed value and in vitro digestibility of caramba (*Lolium multiflorum cv. Caramba*). Master Thesis, Ondokuz Mayıs University, Health Sciences Institute, Samsun. 2015.
- Gürsoy E. Determination of chemical composition, relative feed values and in vitro gas production parameters of some legume and grass forages grown as naturally in the pastures of Erzurum province. Ph. D. Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum. 2013.

- Gürsoy E., Macit M. Comparison of relative feed values of some grasses grown in grassland and meadow of Erzurum province. *YYU J Agr Sci* 2017; 3: 309-317.
- Kara E. Evaluation of yield and quality of some annual grass and legume forage crops and their mixtures growing as winter crop under Aydın ecological conditions. Master Thesis, Adnan Menderes University, Institute of Science, Aydın. 2016.
- Karakurt E., Ekiz H. Effects of the mixture rates of bersem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) on the forage yield. *Journal of Ankara University Faculty of Agriculture*, 1996; 5(2): 25-30.
- Katiç S., Milić D., Karagiç D., Vasiljević S., Glamocic D., Jajić I. Variation of protein, cellulose and mineral contents of lucerne as influenced by cultivar and cut. *Biotechnology in Animal Husbandry* 2009; 25(5-6): 1189-1195.
- Kavut YT., Geren H. Effects of different harvest dates and mixture rates on the yield and some quality characteristics of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) with hairy vetch (*Vicia villosa* L.) mixtures. *Mediterranean Agricultural Sciences* 2018; 31(3): 283-287.
- Kuşvuran A. The effects of different nitrogen doses on herbage and seed yields of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. Caramba). *Afr. J. Biotechnol*, 2011; 10(60): 12916-12924.
- Kuşvuran A; Tansı V. The effects of different row spacing on herbage and seed yields of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. Caramba). *Bulg. J. Agric. Sci.* 2011; 17(6): 744-754.
- Kuşvuran A., Kaplan M., Nazlı Rİ. Effects of ratio and row spacing in hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) inter cropping system on yield and quality under semiarid climate conditions. *Turkish Journal of Field Crops* 2014; 19(1): 118-128.
- Kutlu HR. Feed evaluation and analysis methods. Çukurova University Faculty of Agriculture, Department of Animal Science. Lecture notes, p. 208. 2008.
- Lale V. Determination of herbage yield and quality of some Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) varieties in Bingöl conditions. MSc, Bingöl University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Field Crop, Bingöl. 2020.
- McCormick ME., Forbes S., McKean D., Walz R. Improving nutritional value of summer baleage crops for lactating Holstein cows. *SE Research Station Annual Field Day Sum.* pp. 18-20. 2008.
- Meeske R., Botha PR., Van Der Merwe GD., Greyling JF., Hopkins C., Marais JP. Milk production potential of two ryegrass cultivars with different total non-structural carbohydrate contents. *South African Journal of Animal Science*, 2009; 39(1): 15-21.
- Moore JE. Forage quality indices: Development and Application. In: *Forage Quality, Evaluation and Utilization.* (ed. Fahey, Jr. G.C.). ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, 977-998. 1994.
- Moore JE., Undersander DJ. Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. In: *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*, 10-11 January, Florida, 2002; pp. 16-29.

- Özdemir S., Budaklı ÇE., Aşık BB. The effects of different nitrogen doses on forage yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* wester woldicum Caramba). KSU J. Agric Nat. 2019; 22(1): 131-137.
- Özelçam H., Kırkpınar F., Tan K. Chemical composition, in vivo digestibility and metabolizable energy values of Caramba (*Lolium multiflorum* cv. Caramba) fresh, silage and hay. Asian Australas. J. Anim. Sci. 2015; 28(10): 1427-1432.
- Petrie A., Watson P. Statistics for Veterinary and Animal Science. Blackwell Science Ltd, London, 1999.
- Redfearn D., Zhang H., Caddel J. Forage quality interpretations. Oklahoma Coop. Extension Service 2006; F-2117. <http://pods.dasnr.okstate.edu/d°Cushare/dsweb/Get/D°Cument/2557/F2117web.pdf>, 2009. 2006.
- Rohweder DA., Barnes RF., Jorgensen N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses fore valuating quality. J. of Anim. Sci. 1978; 47: 747-759.
- Serin Y., Tan M., Şeker H. The effects of nitrogen fertilization and planting rate on grass and crude protein yield and raw protein ratio in single-year turf (*Lolium multiflorum* Lam.). Turkey 3. Meadow and Forage Crops Congress (17 to 19 June 1996), Erzurum. 1996; 732-738.
- Soya H., Avcıoğlu R., Geren H. Yem bitkileri. Hasad yayın, 1997; 1-220.
- Şimşek S. Determination of the effects of different rates of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz) + annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) mixtures on yield and quality under Kırşehir conditions, MSc, Ahi Evran University Institute of Science, Kirsehir. 2015.
- Teutsch C., Smith R. Does annual ryegrass fit into Virginia's pasture systems? Cropand soil environmental news, September 2001. USA.
- TUİK. Year 2017 Turkey Statistical Institute data. 'https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr' Access (01.12.2017). 2017a.
- TUİK. Year 2017 Turkey Statistical Institute data. 'https://biruni.tuik.gov.tr/hayvancilikapp/hayvancilik.zul' Access (01.12.2017). 2017b.
- Türk M., Pak M., Bıçakçı E. The effects of different nitrogen fertilizer doses on the yield and quality of some annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) cultivars. Isparta University of Applied Sciences Journal of the Faculty of Agriculture 2019; 14(2): 219-225.
- Van Dyke NJ., Anderson PM. Interpreting a forage analysis. Alabama cooperative extension. Circular ANR-890. 2000.
- Van Soest PJ., Robertson JD., Lewis BA. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 1991; 74: 3583–3597.
- Yavuz T., Sürmen M., Albayrak S., Çankaya N. Determination of forage yield and quality characteristics of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) lines. Journal Agricultural of Sciences 2017; 23(2): 234-241.

Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonda Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması

Celal ÖZDEMİR¹, Hakan ÇAĞLAR², Adem AHISKALI³, Selçuk ÇİMEN⁴, Çağrı AVAN^{5*}

¹Kastamonu University, Institute of Science and Technology, Kastamonu

²Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kırşehir

³Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kastamonu

⁴Bayburt University, Graduate Education Institute, Civil Engineering Doctorate Program, Bayburt

⁵Kastamonu University, Institute of Science and Technology, Kastamonu

¹<https://orcid.org/0000-0002-8489-3568>

²<https://orcid.org/0000-0002-1380-8637>

³<https://orcid.org/0000-0002-1265-7312>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4536-7693>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-4068-7631>

*Sorumlu yazar: cagriavan@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.08.2021

Kabul tarihi: 17.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kendiliğinden yerleşen hafif beton

Bims

Mermer tozu

Kırşehir

ÖZ

Bu çalışmada, doğal kaynaklarımızdan biri olan Nevşehir bölgesine ait asidik pomza agregası ile Kırşehir bölgesinden elde edilen endüstriyel atık olan mermer tozunun kullanılması sonucu kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilmesi amaçlanmaktadır. Çimento ikame malzemesi olarak farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) mermer tozu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda fiziksel ve mekanik olarak kendiliğinden yerleşen hafif betondan üstün bir yapı malzemesi elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze ve sertleşmiş özellikleri araştırılmıştır. Taze beton özelliklerini belirlemek için; taze beton birim ağırlık, çökme-yayıma, V hunisi, L kutu ve U kutu testi ve taze beton birim hacim ağırlık testi yapılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için su emme, kuru birim ağırlık testi, basınç dayanımı testi, yarmada çekme dayanımı testleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; %15 mermer tozu kullanımının uygun olacağı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılmasında bir sakınca olmadığı belirlenmiştir. Mermer tozu gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde kullanılması hem çevre kirliliği hem de sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Researching the Use of Marble Powder in Self-Compacting Light Concrete

Research Article

Article History:

Received: 12.08.2021

Accepted: 17.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Self compacting lightweight

Concrete

Pumice

Marble powder

Kırşehir

ABSTRACT

In this study, it is aimed to produce self-compacting lightweight concrete as a result of using acidic pumice aggregate belonging to Nevşehir region, which is one of our natural resources, and waste marble powder, which is industrial waste and obtained from Kırşehir region, at different rates (0%, 5%, 10% and 15%) as cement substitute material. As a result of the study, it is aimed to obtain a building material that is superior to the self-compacting lightweight concrete in physical and mechanical terms. In this context, the fresh and hardened properties of self-compacting lightweight concretes were investigated. To determine the fresh concrete properties; fresh concrete unit weight, slump-srawl, V funnel, L box and U box test and fresh concrete unit volume weight test were carried out. In order to determine the hardened concrete properties, water absorption, dry unit weight test, compressive strength test, splitting tensile strength tests were applied. As a result of the

study; it has been determined that there is no harm in using it in the production of self-compacting lightweight concrete, where the use of 15% marble powder will be appropriate. The use of industrial wastes such as marble powder in concrete production is important in terms of both environmental pollution and sustainability.

To Cite: Özdemir C., Çağlar H., Ahıskalı A., Çimen S., Avan Ç. Researching the Use of Marble Powder in Self-Compacting Light Concrete. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1184-1200.

1. Introduction

Today, the use of concrete in the field of construction is gaining popularity day by day. Concrete produced by using certain proportions of cement, aggregate, water and additives when necessary, is by far the most frequently used, multi-phase, extremely complex, heterogeneous structure of self-forming materials found all over the world, and is the most consumed after water and it is a man-made material (Erdogan, 2003; Hasar et al., 2010; Khodabakhshian et al., 2018; Choudhary et al., 2020). Due to its durability, functionality, sustainability and economy, it is actively used in many different areas such as dams, infrastructure facilities, bridges, concrete roads, buildings, commercial structures (Çelik, 2021). Various studies and experiments are carried out to improve the different properties of concrete, which is an important part of the construction industry (Aslan, 2020). As a result of studies and experiments, it has been determined that normal concrete cannot fully meet the needs such as strength and durability (Topçuoğlu, 2021). In order to meet these needs, studies have been started to produce special concretes (Ağsu, 2019).

As a result of researches and developments related to concrete, self-compacting concrete (KYB-SCC), high-performance concrete, lightweight concrete, self-compacting lightweight concrete, ultra-high strength concrete, architectural concrete, etc. concrete types have emerged (Zarrog, 2020).

Self-compacting concrete (SCC), developed by Japanese scientists in 1990, is generally used in the construction industry because it can flow freely without the need for any external vibration due to its own weight (Danish and Ganesh, 2021).

Another special concrete is lightweight concrete (Aruntaş et al., 2007). Lightweight concrete is a non-combustible material with high insulation properties, low weight, and sufficient strength. In addition, it is a material that makes architecture look from a new window in terms of the architecture of the future and has a great impact with this aspect. The fact that it is lightweight and has a porous structure that provides sound and heat insulation distinguishes lightweight concrete from other types of concrete.

In recent years, studies have been carried out to develop a new type of concrete as a construction material. This concrete, called self-compacting lightweight concrete (KYHB-SCLWC), consists of the combination of easy flow and stability of SCC with the advantage of lightweight concrete (Lo et al., 2007). Many developments have been made in the field of concrete technology and self-compacting lightweight concrete has been widely used due to its superior properties such as durability, less mold

pressure, reduced dead load and chemical attack, high resistance to fire. SCLWC is a more durable and low unit weight material compared to conventional concrete (Altalabani, 2020).

Pumice, which is frequently used in self-compacting concrete, has a pH value of 7-7.3 under normal conditions. Acidic pumice is widely available on earth. It is preferred because it contains high silica (DPT, 2001). Basic pumice is harder and heavier than other types of pumice (Gönen and Yazıcıoğlu, 2018). The properties of pumice are effective in the production of the material.

While concretes were developed to meet the needs, industrial wastes started to be included in this development. The use of waste materials in SCLWC production is important in terms of sustainability. In addition, using industrial waste will be the key to reducing natural resource consumption and achieving cleaner production (Abdul Awal and Mohammadhosseini, 2016; Ashish, 2019; Benjeddou et al., 2020; Mohammadhosseini et al., 2020).

Marble industries generate large amounts of waste and this is harmful to the environment. Accordingly, these waste materials require appropriate management to ensure a cleaner environment. Given this, the use of recycled materials in construction is desirable because of the space saved in landfills and the reduction of carbon dioxide (CO₂), as well as the lower cost associated with waste materials (Benjeddou et al., 2020).

Although waste materials are an important problem today, it is important to make them reusable. For self-compacting concrete technology, such materials will be beneficial in terms of sustainability.

In this study, it is aimed to produce self-compacting lightweight concrete as a result of using acidic pumice aggregate belonging to Nevşehir region, which is one of our natural resources, and waste marble powder, which is industrial waste and obtained from Kırşehir region, at different rates (0%, 5%, 10% and 15%) as cement substitute material. The samples produced as a result of the experimental study were aimed to obtain a building material with superior physical and mechanical properties compared to the self-compacting lightweight concrete.

2. Material and Method

2.1. Material

2.1.1. Marble Powder (MT)

The waste used in the SCLWC produced within the scope of the study was obtained from the ARP granite and marble enterprise located in the Kaman district of MT Kırşehir. The material was taken in the form of precipitate slime in the enterprise. The sludge taken was dried in an oven at 100+5°C and separated from its water. The grain density of the waste marble powder is 2.73 g/cm³. Finally, waste marble powder material passing through a 0.125 mm sieve, whose chemical properties are given in Table 1, was used in sample production. The marble powder used in the experiment is given in Figure 1.

Table 1. Chemical properties of MT

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
MT (%)	39.40	15.20	7.65	34.20	0.65



Figure 1. Marble powder used in the production of SCLWC samples

2.1.2. Cement

CEM I 42.5 R class portland cement was used in the experiments (Figure 2). Cement whose physical, chemical and mechanical properties are given in Table 2 is produced by Baştaş Çimento San. A.Ş. Cement production. This cement is produced based on the TS EN 197-1 (2012) “Cement, Composition Properties and Compliance Criteria” Standard.



Figure 2. Cement used in experiments

2.1.3. Aggregate

The pumice used as aggregate in the produced material has grain sizes of 0-2, 2-4, 4-8 mm. In the mixture, 30% of 0-2 mm fine light aggregate, 40% of 0-4 mm fine light aggregate and 30% of 4-16 mm coarse light aggregate were used (Table 3).

Table 2. CEM I 42.5 R chemical, physical and mechanical properties

Analysis	Oxide	Value	Analysis	Experiments	Value
Chemical (%)	CaO	63.5	Physical	Specific Surface (cm ² /g)	3320
	Al ₂ O ₃	5.35		Volume Expansion (mm)	1.2
	Fe ₂ O ₃	3.30		Water requirement (g)	28.5
	SiO ₂	20.41		Density (g/cm ³)	3.12
	SO ₃	2.93		Setting start time (min.)	163
	MgO	1.65		Setting finishing time (min.)	240
	Na ₂ O	0.15	Mechanical	Day	MPa
	Cl	0.011		2 days	28.2
	K ₂	0.71		7 days	42.7
	HCl	0.28		28 days	51.4

Table 3. Chemical analysis of pumice aggregates

Components %	Rate %
SiO ₂	74.10
Al ₂ O ₃	13.45
Fe ₂ O ₃	1.40
CaO	1.17
MgO	0.35
K ₂ O	4.10
Na ₂ O	3.70
SO ₃	-

2.1.4. Chemical Additive

The additive used in the experimental studies in the study was supplied from BASF company. Polycarboxylic ether based super-plasticizer Master Glenium SKY608 additive is recommended to be used between 0.8 – 1.5 kg for 100 kg binder by mass in self-compacting lightweight concrete mixes.

2.1.5. Mixing Water

In the production of SCLWC samples, Kastamonu city tap water, which does not contain organic matter and mineral salt, was used as mixing water.

2.2. Method

2.2.1. Production of Self-Compacting Lightweight Concrete Samples

The recipe showing the mixing ratios of SCLWC samples produced within the scope of the thesis study is given in Table 4. In the study, 5%, 10% and 15% marble powder was used as a cement replacement material.

Table 4. SCLWC mixture recipe

Recipe	Marble Powder (MT) (%)	Pumice (%)	Water/Cement	Super plasticizer (SA) (%)
REF	0	100	0.35	0.8-1.5
5% MT	5	100	0.35	0.8-1.5
10% MT	10	100	0.35	0.8-1.5
15% MT	15	100	0.35	0.8-1.5

A concrete mixer with a capacity of 40 dm³ was used to prepare concrete mixtures in the production of SCLWC samples. First, before the materials are taken into the mixer, the mixer is moistened. Then, all aggregates were taken to the mixer and mixed in dry form for 2 minutes. Then, 2/3 of the mixing water specified in the recipe was added and mixed again for 2 minutes. Finally, the remainder of the water and plasticizer and air entraining additive were added and mixed for another 2 minutes. After the mixing process, some concrete mixture was taken from the mixer and fresh concrete tests were applied to the mixture. SCLWC mortar prepared after the fresh concrete experiments gave the desired results was poured into cube molds of 15x15x15 cm and 10x10x10 cm (Figure 3). The contribution rate was determined as a result of the evaluation of the studies in the literature.



Figure 3. Pouring the mixture into molds

The concrete sample was poured into the mold in two stages in order to minimize the compressed air gap formed in the concrete during the filling process. After the first stage was done, it was waited for a while, then the second stage was done. Surface leveling was applied to obtain a smooth surface on all samples. After leveling, the samples were kept in the mold for 24 hours. After 24 hours, the samples were taken out of the mold and placed in the curing pool at $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figure 4).



Figure 4. Curing of samples in curing pool

Finally, the samples were removed from the curing pool and subjected to physical and mechanical tests. In all mixtures, the total amount of binder (cement+mineral additive) and water/cement ratio were kept constant.

3. Results and Discussion

3.1. Fresh Concrete Test Results

Whether self-compacting concretes have the ability to self-compact was determined by comparing the report published by EFNARC (The European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) (EFNARC, 2002). According to this report, it is said that the concrete between the limit values has the ability to compact on its own. In order for a concrete to be understood to have self-compacting ability, its ability to pass, its filling ability and segregation resistance must be at the desired level.

3.1.1. Slump-Dispersion test results

In order to understand whether the SCLWC samples have the ability to fill or not, a precipitation-dispersion test was performed. The result of the slump-dispersion test is given in Figure 5.

According to the report published by EFNARC in 2005 for self-compacting concretes, self-compacting concretes are divided into three groups. These are; SF1, SF2, and SF3. SF1; those with a spreading diameter of 550-650 mm, SF2; those with a spreading diameter between 660-750 mm and SF3; those with a spreading diameter between 760-850 mm.

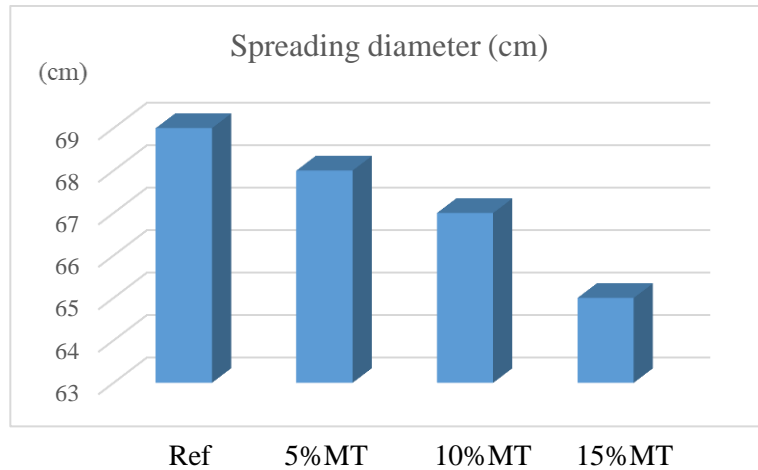


Figure 5. Slump-dispersion test results of SCLWC samples

When Figure 5 is examined; it was observed that the spreading diameter values of SCLWC mixtures varied between 650 and 690 mm. While the reference (REF) sample had the highest spreading diameter with 690 mm, the sample with 15% MT added had the lowest spreading diameter with 650 mm. In addition, it was concluded that the additive of marble powder reduces the workability of fresh concrete. When the literature is examined, there are different opinions on the machinability of marble powder from SCC. While some scientists argue that marble powder increases machinability (Şahmaran et al., 2006; Hallal et al., 2010; Uysal and Sümer, 2011), others reported that it decreases (Gesoğlu et al., 2012; Türkmenoğlu, 2015).

To determine the viscosity of SCC mixtures, the T_{500} time was measured. The values found are given in Figure 6.

According to the report published by EFNARC (2002), the spreading times of SCC mixtures (T_{500} time) are divided into two as VS1 and VS2. Those with T_{500} times ≤ 2 seconds are expressed as VS1, and those with >2 seconds are expressed as VS2.

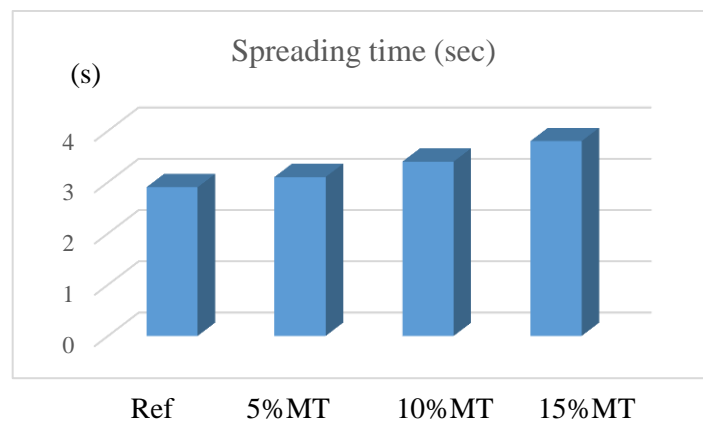


Figure 6. Spread time (T_{500} time) test results of SCLWC samples

When the figure is examined; it is seen that the spreading times of SCLWC samples vary between 2.9 seconds and 3.8 seconds. The dispersion (spreading) time of the reference sample mixture was measured as 2.9 s.

In SCLWC mixtures with waste marble powder, it was observed that 5% MT mixture had the lowest spreading time with 3.1 s, while the highest spreading time was 3.8 seconds with 15% MT mixture. In addition, it was determined that the spreading time of SCLWC mixtures increased with the increase of marble powder substitution. When the literature is examined, it has been reported that the spreading time is prolonged in some studies (Aruntaş et al., 2007; Uysal, 2010; Gesoğlu et al. 2012), while in some studies it is shortened (Türkmenoğlu, 2015).

3.1.2. V-Funnel test results

In order to determine the viscosity of the SCLWC mixtures produced within the scope of the study, the V-Funnel test was performed. The values found are presented in Figure 7.

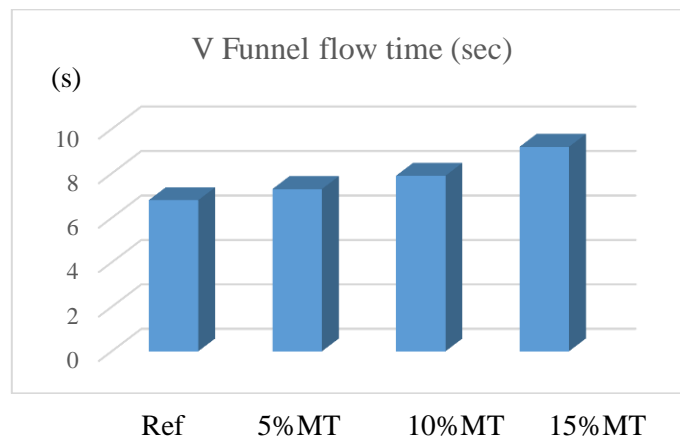


Figure 7. V-Funnel test results of SCLWC samples

According to the report published by EFNARC in 2005; SCCs are divided into two groups, VF1 and VF2, according to their viscosity capabilities. According to this grouping, VF1; V-Funnel means SCC mixtures with a flow time of ≤ 8 sec, and VF2 with a V-Funnel flow time between 9-25 sec.

When the figure is examined, it is seen that the V-funnel flow times of SCLWC mixtures vary between 6.8 and 9.2 seconds. While the shortest flow time was measured from the reference sample, the longest flow time was obtained from the mixtures with 15% MT. In the study, REF is in the 5% MT and 10% MT VF1 class, while 15% MT is in the VF2 class with 9.2 seconds. In addition, it was determined that the flow times increased with the increase in the amount of marble powder additive. There are different studies in the literature that marble powder prolongs the flow time (Gesoğlu et al., 2012; Türkmenoğlu et al., 2015).

3.1.3. U-Box test results

U-Box test was carried out to determine the filling and permeability of SCLWC mixtures. According to the report prepared on the basis of SCC criteria EFNARC; the distance between the arms of the U box should be at most 3 cm. If the value found is below 3 cm, it means that the ability of the concrete material to pass between the reinforcements is high, and if it is above 3 cm, the ability to pass between the reinforcements is low. In the U box test results of the SCLWC mixtures produced within the scope of the study, it was determined that the reference sample was 1 cm and the marble powder added samples were 2 cm.

3.1.4. L-Box test results

L-Box test was carried out to determine the filling and permeability of self-compacting lightweight concrete mixes. L Box test results of SCLWC samples are presented in Figure 8. According to EFNARC (2005), the crossing ability of SCUs is divided into two groups as PA1 and PA2. When the CIB's ability to pass through the two-bar L box is ≥ 0.80 , it is in the PA1 group, and when the SCC's ability to pass through the three-bar L box is < 0.80 , it is in the PA2 group.

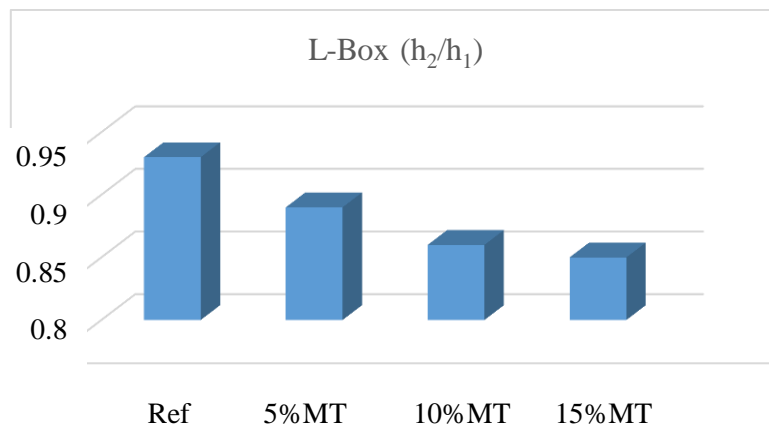


Figure 8. L-Box test results of SCLWC samples

When the figure is examined; h_2/h_1 values ranged from 0.85 to 0.93. Since the three-bar L box was used in the study, it was determined that all samples were in the PA2 group. While the highest value was obtained from the reference sample with 0.93, the lowest value was obtained from 0.85 and 15% MT samples. When the literature is examined, it has been observed that the ability of marble powder to pass through SCC has increased in some studies (Hallal et al., 2010) and decreased in some studies (Gesoglu et al., 2012).

3.1.5. Fresh concrete unit volume weight test results

Fresh concrete unit volume weight (UVW) values of SCLWC mixtures were determined based on the TS EN 12530-6 standard. The results of the experiments carried out within the scope of the study are given in Figure 9. When the figure is examined; it was observed that the fresh concrete UVW values

of the SCLWC samples varied between 1288 kg/cm^3 and 1375 kg/cm^3 . While the highest UVW was obtained from the reference sample with 1375 kg/cm^3 , the lowest UVW was obtained from 1288 kg/cm^3 with 15% MT added samples. In addition, it was concluded that the UVW value of fresh concrete decreased as the amount of marble powder additive increased.

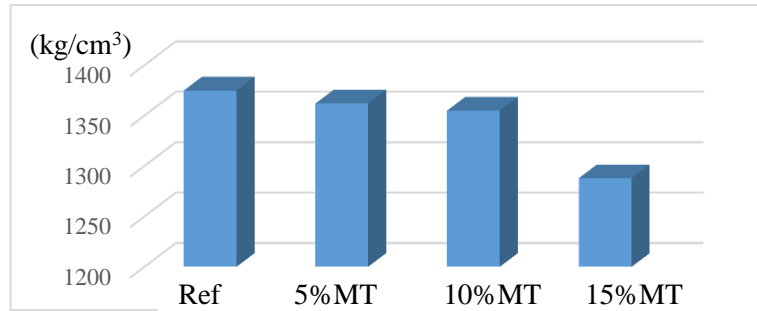


Figure 9. Fresh concrete UVW test results of SCLWC samples

Türkmenoğlu (2015) determined in their study that the addition of marble powder reduces the UVW of fresh concrete. This situation supports the thesis study.

3.2. Hardened Concrete Test Results

3.2.1. Physical Experiment Results

Water Absorption Test Results

The values of the water absorption rates of the SCLWC samples are given in Figure 10. When the figure is examined; it is seen that the water absorption rates of SCLWC samples vary between 14.5% and 18.7%. While the reference sample had the lowest water absorption value with 14.5%, it was determined that 15% MT had the highest water absorption rate with 18.7%. In addition, with the increase in the amount of marble powder in SCLWC production, the water absorption rate decreased. It is thought that this decrease is due to the porous structure of the aggregate used in concrete. In the literature, there are studies showing that marble powder increases the amount of water absorption (Chindaprasirt and Rattanasak, 2011; Jitchaiyaphum et al., 2013; Türkmenoğlu et al., 2015).

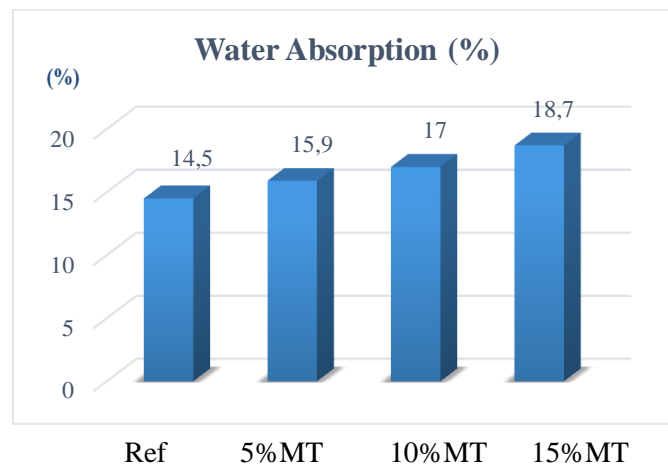


Figure 10. Water absorption test results of SCLWC samples

Dry Unit Volume Weight Test Results

Dry unit volume weight values of SCLWC samples are given in Figure 11. When the figure is examined; it was determined that the dry unit volume weight values of SCLWC samples varied between 1210 kg/m^3 and 1037 kg/m^3 . While the reference sample had the highest dry unit volume weight with 1207 kg/m^3 , it was seen that 15% MT samples had the lowest dry unit volume weight with 1037 kg/m^3 .

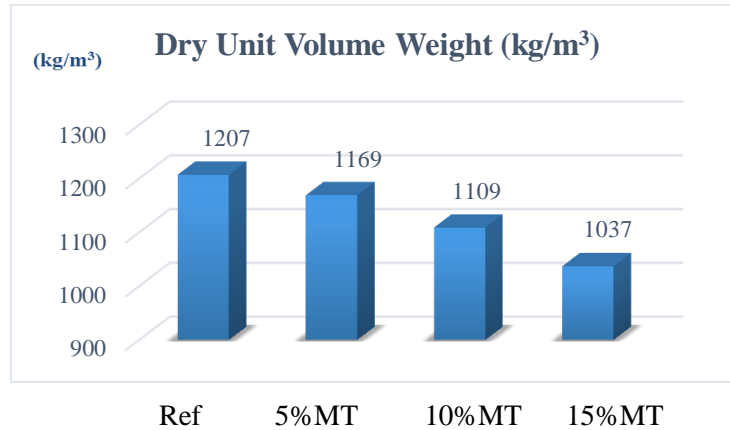


Figure 11. Dry unit volume weight test results of SCLWC samples

When the values found are analyzed based on the TS EN 206-1 (2010) standard; it is seen that all of the SCLWC samples are in the class of medium strength lightweight concrete.

3.2.2. Mechanical Test Results

Compressive Strength Test Results

Compressive strength test of 7 and 28 days old SCLWC samples was made based on TS EN 12390-3 (2019). The compressive strength values of the samples are given in Figure 12.

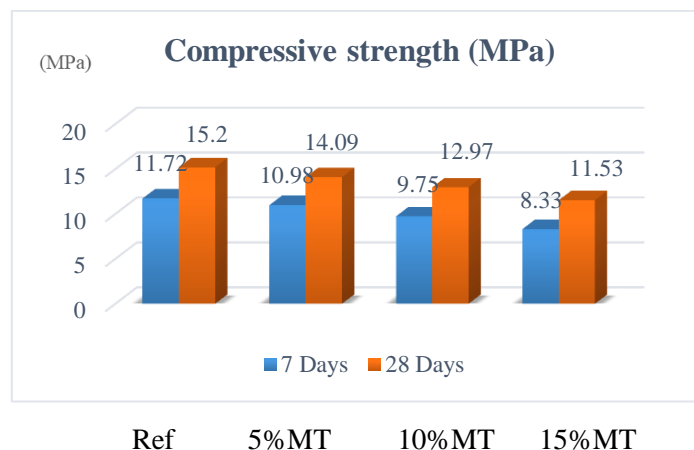


Figure 12. Compressive strength test results of SCLWC samples

When the graph of the 7-day samples is examined; while the reference sample had the highest compressive strength with 11.72 MPa, the samples with 15% MT additive had the lowest compressive

strength with 8.33 MPa. In addition, with the increase in the amount of marble powder, the 7-day compressive strength decreases.

When the graph of the 28-day samples is examined; compressive strengths are 15.2 MPa, 14.09 MPa, 12.97 MPa and 11.53 MPa, respectively. The highest value was obtained from the reference samples with 15.2 MPa, while the lowest value was obtained from the 15% MT samples with 11.53 MPa.

When the literature is examined; it has been observed that the compressive strength decreases with the increase in the amount of marble powder (Gesoglu et al., 2012; Vijayalakshmi et al., 2013; Arshad et al., 2014). Rai et al. (2011) reported in their study that the reason for this decrease was due to the low adherence of cement and marble powder surfaces. In addition, there are studies in the literature reporting that the compressive strength increases with the increase in the amount of marble powder (Aruntaş et al., 2010; Shirule et al., 2012). It is thought that the reason for the increase in the pressure value in the studies is that the active silica in the marble powder reacts with the calcium hydroxide to form secondary CSH (Omar et al., 2012).

Splitting Tensile Strength Test Results

The splitting tensile strength test applied to self compacting lightweight concrete samples was based on the TS EN 12390-6 standard (2010). 7 and 28 days split tensile strength test results of samples are given in Figure 13.

When the splitting tensile strength values of the 7-day samples are examined; it was observed that the reference sample had the highest value with 2.73 MP, while the samples with 1.76 and 15% MT had the lowest value with 1.76 MPa. The splitting tensile strength values of the samples were seen 2.82 MPa, 2.56 MPa, 2.13 MPa, 1.76 MPa respectively. In addition, it was determined that the tensile strength of splitting decreased with the increase in the amount of marble powder.

When the literature is examined; in some studies, the compressive strength decreased with the increase in the amount of marble powder, while in some studies it increased (Uysal and Yılmaz, 2011).

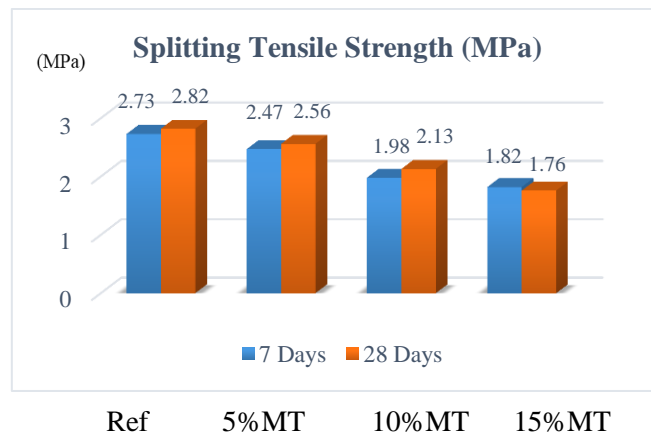


Figure 13. Splitting tensile strength test results of SCLWC samples

4. Conclusion and Recommendations

In this study, it is aimed to produce self-compacting lightweight concrete as a result of using acidic pumice aggregate belonging to Nevşehir region, which is one of our natural resources, and waste marble powder, which is industrial waste and obtained from Kırşehir region, at different rates (0%, 5%, 10% and 15%) as cement substitute material. For this purpose, SCLWC samples were produced and physical and mechanical tests were performed on the samples. In conclusion; it has been determined that the reference and marble powder added samples produced in the study comply with the SCC criteria specified in the EFNARC report.

When the fresh concrete properties of SCLWC are examined; it was determined that the spreading diameter of the fresh concrete decreased and the spreading time extended with the increase of the marble powder additive ratio. The workability of concrete has decreased due to the angular structure of the marble powder used in the production of SCLWC. When the V-funnel test to determine the viscosity of the SCLWC samples is examined; it was determined that the flow time increased with the increase in the amount of marble powder. According to the U-box test result; it has been observed that the addition of marble powder increases the ability of fresh concrete to pass between reinforcements. According to the results of the L-box experiment; all samples were found to be in the PA2 class. In SCLWC production, with the increase in the amount of marble powder, the unit volume weight values of fresh concrete decreased.

When the experiments to determine the physical properties of SCLWC samples are examined; in the water absorption experiment, it was determined that the water absorption rate increased with the increase in the amount of marble powder. In the dry unit volume weight test, it was observed that the dry unit volume weight value decreased as the amount of marble powder increased.

When the tests performed to determine the mechanical properties of SCLWC samples are examined; according to the compressive strength test results; the compressive strength decreased with the increase in the amount of marble powder. In the split tensile strength test, it was observed that the split tensile strength values decreased with the increase in the amount of marble powder.

In addition, it is considered that there is no harm in using it in the production of self-compacting lightweight concrete, where the use of 15% marble powder will be appropriate. The use of industrial wastes such as marble powder in concrete production is important in terms of both environmental pollution and sustainability. With the use of tons of marble powder released every year in the concrete industry, the waste storage costs will decrease and this situation will contribute to the country's economy. In our country, where there are significant pumice deposits around the world, studies should be carried out on the use of pumice as lightweight concrete aggregate. Scientific studies on industrial wastes such as marble powder or local raw materials such as pumice should not remain only in the literature, but should be developed in cooperation with the industry.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Ağsu AS. Resistance of self-setting concrete and investigation of fast chlorine ion permeability. Atatürk University Institute of Science and Technology Master Thesis, 141 p, Erzurum, Turkey, 2019.
- Altalabani D., Bzeni DKH., Linsel S. Mechanical properties and load deflection relationship of polypropylene fiber reinforced self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials* 2020; 252: 119084.
- Arshad A., Shahid I., Anwar UHC., Baig MN., Khan S., Shakir K. The wastes utility in concrete. *International Journal of Environment Research* 2014; 8(4): 1323-1328.
- Aruntaş YH., Dayı M., Tekin İ., Birgül R., Şimşek O. Effect of waste marble dust on self-compacting concrete properties. 2. Chemical Additives in Structures Symposium, April 2007, İzmir.
- Aruntaş HY., Gürü M., Dayı M., Tekin İ. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials and Design* 2010; 31(8): 4039-4042.
- Aslan S. Examining the effects of glass fibre additive on concrete. Avrasya University Institute of Science Master Thesis, 56 p, İstanbul, Turkey, 2020.
- Ashish DK. Concrete made with waste marble powder and supplementary cementitious material for sustainable development. *Journal of Cleaner Production* 2019; 211: 716-729.
- Abdul Awal ASM., Mohammadhosseini H. Green concrete production incorporating waste carpet fiber and palm oil fuel ash. *Journal of Cleaner Production* 2016; 137: 157-166.
- Benjeddou O., Alyousef R., Mohammadhosseini H., Soussi C., Khadimallah MA., Alabduljabbar H., Tahir MM. Utilisation of waste marble powder as low-cost cementing materials in the production of mortar. *Journal of Building Engineering* 2020; 32: 101642.
- Chindapasirt P., Rattanasak U. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash. *Materials & Design* 2011; 32(2): 723-727.
- Choudhary R., Gupta R., Nagar R., Jain A. Sorptivity characteristics of high strength self-consolidating concrete produced by marble waste powder, fly ash, and micro silica. *Materials Today: Proceedings* 2020; 32: 531-535.
- Çelik Y. Early age performance and mechanical characteristics of concrete which is used in service buildings. Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences Master Thesis, 56 p, Gaziantep, Turkey, 2021.

- Danish P., Ganesh GM. Study on influence of metakaolin and waste marble powder on self-compacting concrete – A state of the art review. *Materials Today: Proceedings* 2021; 44(1): 1428-1436.
- DPT Eighth Five-Year Development Plan, “Mining ÖİK Report Industrial Raw Materials Sub-Commission Building Materials III (PumicePerlite-Vermiculite Phlogopite Expanding Clays) Working Group Report”. Turkey, Report. DPT: 2617 2001 (Date of access: 25.07.2021).
- EFNARC Specifications and guidelines for self-compacting concrete. European federation of specialist construction chemicals and concrete system February 2002 (Date of access: 25.07.2021).
- Erdogan T. Concrete. Ankara: METU Publishing; 2003.
- Gesoğlu M., Güneyisi E., Kocabağ ME., Bayram V., Mermerdaş K. Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler and fly ash. *Construction and Building Materials* 2012; 37: 160-170.
- Gönen T., Yazıcıoğlu S. The effect of curing conditions on permeation of self-compacting lightweight concrete with basaltic pumice aggregate. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2018; 43(10): 5157-5164.
- Hasar UC., Şimsek O., Aydın AC. Application of varying-frequency amplitude only technique for electrical characterization of hardened cement-based materials. *Microwave and Optical Technology Letters* 2010; 52(4): 801-805.
- Hallal A., Kadri EH., Ezziane K., Kadri A., Khelafi H. Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste. *Construction and Building Materials* 2010; 24(8): 1418-1423.
- Jitchaiyaphum K., Sinsiri T., Jaturapitakkul C., Chindapasirt P. Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 2013; 20(5): 462-471.
- Khodabakhshian A., Ghalehnovi M., de Brito J., Shamsabadi EA. Durability performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. *Journal of Cleaner Production* 2018; 170: 42-60.
- Lo TY., Tang PWC., Cui HZ., Nadeem A. Comparison of workability and mechanical properties of self-compacting lightweight concrete and normal self-compacting concrete. *Materials Research Innovations* 2007; 11(1): 45-50.
- Mohammadhosseini H., Lim NHAS., Tahir MM., Alyousef R., Samadi M., Alabduljabbar H., Mohamed AM. Effects of waste ceramic as cement and fine aggregate on durability performance of sustainable mortar. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2020; 45(5): 3623–3634.

- Omar OM., Abd Elhameed GD., Sherif MA., Mohamadien HA. Influence of limestone waste as partial material for sand and marble powder in concrete properties. *HBRC Journal* 2012; 8(3): 193-203.
- Rai B., Naushad KH., Abhishek K., Rushad TS., Duggal SK. Influence of Marble powder/granules in Concrete mix. *International Journal of Civil and Structural Engineering* 2011; 1(4): 827.
- Shirule PA., Rahman A., Gupta RD. Partial replacement of cement with marble dust powder. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies* 2012; 1(3): 175-177.
- Şahmaran M., Christiano HA., Yaman İÖ. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and Concrete Composites* 2006; 28(5): 432-440.
- Topçuoğlu Z. Investigation of the manufacturability of self located heavy concrete using barite aggregate. *Firat University Graduate School of Natural and Applied Sciences Master Thesis*, 78 p, Elazığ, Turkey, 2021.
- TS EN 12390-6 Concrete-hardened concrete tests, Chapter 6: Determination of splitting tensile strength of test samples. *Turkish Standards Institute Ankara*, 2010.
- TS EN 206-1 Concrete - Part 1: Feature, performance, manufacturing and conformity. *Turkish Standards Institute Ankara*, 2010.
- TS EN 12390-3 Concrete-Hardened concrete tests-Part 3: Determination of compressive strength in test samples. *Turkish Standards Institute Ankara*, 2019.
- TS EN 197-1 Cement- Part 1: General cements - Composition, properties and conformity criteria. *Turkish Standards Institute Ankara*, 2012.
- Türkmenoğlu ZF., Kılıç AM., Depci T. Investigation of mechanical properties of self-compacting lightweight concrete produced with Van pumice and marble dust wastes. *Journal of Çukurova University Faculty of Engineering and Architecture* 2015; 30(1): 105-116.
- Uysal M. The effect of mineral additives on the mechanical and durability properties of self compacting concrete. *Sakarya University Institute of Science and Technology Doctoral Thesis*, 268 p, Sakarya, Turkey, 2010.
- Uysal M., Sumer, M. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building Materials* 2011; 25(11): 4112-4120.
- Uysal M., Yilmaz K. Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites* 2011; 33(7): 771-776.
- Vijayalakshmi M., Sekar ASS., Prabhu GG. Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste. *Construction and Building Materials* 2013; 46: 1-7.
- Zarrog MHT. Investigation of the use of fly ash and marble powder in self-compacting concrete production. *Kastamonu University Institute of Science and Technology Master Thesis*, 94p, Kastamonu, Turkey, 2020.

Chia Tohumu ve Probiyotik/ Enzim İlavesinin Ayrı ve Kombine Olarak Tuj Koyunları Rasyonlarında Kullanımının Performans, Rumen ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkisi

Mükremin ÖLMEZ^{1*}, Kanber KARA², Özlem KARADAĞOĞLU³, Metin ÖĞÜN⁴, Tarkan ŞAHİN⁵, İdil ŞERBETÇİ⁶

^{1,3,5} Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 36100, Kars

²Erciyes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, 38000, Kayseri

⁴Kafkas Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, 36100, Kars

⁶Zürich Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Reprodüksiyon Kliniği, 8057, Zürih

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5003-3383>

² <https://orcid.org/0000-0001-9867-1344>

³ <https://orcid.org/0000-0002-5917-9565>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-2599-8589>

⁵ <https://orcid.org/0000-0003-0155-2707>

⁶ <https://orcid.org/0000-0002-5784-2984>

*Sorumlu yazar: mukremin.olmez@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 11.02.2022

Kabul tarihi: 18.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Chia

Tuj koyunu

Probiyotik

Performans

Rumen parametreleri

Kan parametreleri

Chia (*Salvia hispanica* L.) tohumları, çiftlik hayvanlarının performansını ve üretkenliğini arttıracak antioksidan özelliğindedir. Probiyotikler ise hayvan sağlığı ve büyüme performansı üzerinde farmasötik ve/veya metabolik etkilere sahip olabilecek yem katkı maddeleridir. Etki tarzlarındaki farklılıklar nedeni ile, chia tohumu, probiyotik ve enzim karmasının birlikte kullanılmalarının ruminant hayvanlarda performans, kan ve rumen parametreleri üzerinde ilave etkilerin görülmesine neden olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla, çalışmada Tuj koyunları (n=20; 1,5 yaşında; ortalama 40,5 kg) her birinde 5 hayvan bulunacak şekilde 1 kontrol ve 3 deneme grubuna ayrılmıştır. Çalışmada kontrol rasyonunun yanı sıra %2,5 chia tohumu (CT), 1g/kg probiyotik enzim karışımı (P+E) ve %2,5 CT + 1g/kg P+E ilavesi yapılmıştır. Koyunlar 7 gün adaptasyon ve 14 gün deneme süresi olacak şekilde toplam 21 gün beslenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, Tuj koyunlarının rasyonlarına CT ve/veya P+E ilavesinin besi performansı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (P>0,05). Rumen toplam uçucu yağ (tVFA) asitleri konsantrasyonu kontrol grubuna göre artarken (P<0,05), rumen pH'sı etkilenmemiştir (P>0,05). Serum esterleşmemiş yağ asitleri, betahidroksibütirikasit, nitrik oksit ve kalsiyum değerleri katkı maddesi ilavesi yapılan deneme gruplarında kontrol grubuna göre farklılık gösterirken (P<0,05), serum malondialdehit, fosfor, total protein ve glikoz konsantrasyonları üzerine herhangi bir etkisi olmamıştır (P>0,05).

Effect of Single or Combined Dietary Supplementation of Chia Seed and Probiotic/Enzyme on Growth Performance, Ruminal and Some Blood Metabolites of Tuj Sheep

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 11.02.2022

Accepted: 18.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Chia

Tushin sheep

Probiotic

Performance

Chia (*Salvia hispanica* L.) seeds have antioxidant properties that can improve livestock performance and productivity. Probiotics are feed additives that may have pharmaceutical and/or metabolic effects on animal health and growth performance. Due to the differences in their mode of action, it is thought that the combined use of chia seeds, probiotics and enzyme mix will cause additional effects on performance, blood and rumen parameters in ruminant animals. For this purpose, Tuj sheep (n=20; 1.5 years old; average 40.5 kg) were divided into 1 control and 3 experimental groups, each with 5

animals. Trial rations were separately and combined with 0, 2.5% chia seeds (CT).), 1g/kg probiotic enzyme mixture (P+E) and 2.5% CT + 1g/kg P+E were added. Sheep were fed for a total of 21 days, with 7 days of adaptation and 14 days of trial period. The results indicated that the effect of adding CT and/or P+E to the diets of Tuj sheep on fattening performance was found to be insignificant ($P > 0.05$). While rumen total essential oil (tVFA) acid concentration increased in the control experimental group ($P < 0.05$), rumen pH was not affected ($P > 0.05$). While the concentrations of serum, non-esterified fatty acids, betahydroxybutyric acid, nitric oxide and calcium values differed from the experimental groups to which feed additives was added compared to the control group ($P < 0.05$), it was observed that they had no effect on serum malondialdehyde, phosphorus, total protein and glucose concentrations ($P > 0.05$).

To Cite: Ölmez M., Kara K., Karadağoğlu Ö., Ögün M., Şahin T., Şerbetçi İ. Chia Tohumu ve Probiyotik/ Enzim İlavasının Ayrı ve Kombine Olarak Tuj Koyunları Rasyonlarında Kullanımının Performans, Rumen ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1201-1215.

1. Giriş

Hayvan beslemede rasyonlara yem katkı maddelerinin katılması, besin madde kullanımı ve verimliliğin iyileştirilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Antibiyotiklerin subterapötik seviyeleri, mikrobiyal popülasyon üzerindeki seçici etkiler ve postruminal besin alımının artması yoluyla sağlıklı ruminal epitel ve bağırsak mukozasının korunmasına yardımcı olabilir (Niewold, 2007). Ancak, antibiyotik direnci geliştirme potansiyeline ilişkin artan endişeler (Landers ve ark., 2012), öbiyotik alternatifler arayışına yol açmıştır. Son yıllarda, probiyotikler, enzimler, prebiyotikler (diğerlerinin yanı sıra doğal özler) ve fitobiyotikler, gastrointestinal sistemdeki optimal bir mikroflora dengesine atıfta bulunan Yunanca "eubiosis" terimiyle ilişkili olan "eubiyotikler" genel terimi ile tanımlanmıştır (Markowiak ve Slizewska, 2018). Probiyotikler, patojenik olmayan, bağırsak florasını dengeleyen, patojen kolonizasyonuna karşı etkili bir bariyer oluşturan, metabolik substratların (örneğin, vitaminler ve kısa zincirli yağ asitleri) üretimini destekleyen ve bağışıklık sistemini güçlendiren (Hassan ve ark., 2020; Foksowicz-Flaczyk ve ark., 2022) yararlı canlı mikroorganizmalardır. Aynı zamanda, sağlıklı bir mikrobiyal ekosistemin gelişimini uyararak, ruminal sindirim kapasitesini ve postruminal besin alımını artırarak, bağırsak sağlığına da katkıda bulunabilirler (Uyeno ve ark., 2015). Günümüzde ruminantlar için çok sayıda probiyotik ürün ticari olarak mevcuttur. Bu ürünler ya bakteriyel ya da maya (mantar) kökenli olup, genellikle rumende selüloz ve laktat kullanan bakterilerin uyarılmasıyla ilgilidir (Mc Allister ve ark., 2011). Maya kültürlerinin ruminant beslemede rumen florasını değiştirdiği, rumende yer alan selüloolitik bakterilerin sayısını artırarak lifli besinlerin yararlanılabilirliğini artırdığı (Guedes ve ark., 2008) ve bunun sonucunda büyüme performansı ve yemden yararlanma oranı üzerine olumlu etkilerinin olduğu saptanmıştır (Jia ve ark., 2018; Hassan ve ark., 2020). Rasyonlara probiyotik ilavesinin rumen pH'sını stabilize etme, uçucu yağ asitlerini artırma ve amonyak konsantrasyonunu düşürme işlevine sahip olduğu saptanmıştır (Wang ve ark., 2016). Ruminant rasyonlarında canlı maya kültürü kullanımının rumen pH'sını artırıp, ruminal fermentasyon için optimum koşulların sağlandığı (Khadem ve ark., 2007), rumen pH'sını azalttığı (Tripathi ve Karim, 2011) ya da etkilemediğini (Tripathi ve ark., 2008; Hossain ve ark., 2012; Lopez-Soto ve ark.,

2013; Jia ve ark., 2018; Hassan ve ark., 2020) bildiren çalışmalar mevcuttur. Rasyonlara probiyotik ilavesinin rumendeki toplam uçucu yağ asitleri seviyesini artırdığı (Zapata ve ark., 2021; Krizova ve ark., 2011) ya da herhangi bir etkisinin olmadığını (Tripathi ve ark., 2008; Garcia-Diaz ve ark., 2018) rapor eden çalışmalar bulunmaktadır.

Hayvan beslemede son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan diğer yem katkı maddesi ise, aromatik bitkilerin sekonder metabolitleri ya da tohumlarıdır. Hayvan beslemede antibiyotik kullanımının yasaklanması, şifalı bitkilerden elde edilen doğal maddelerin kullanımının artmasına neden olmuştur. Biyoaktif bileşenler (fitobiyotikler) içeren bitkiler özellikle geniş bir etki spektrumuna sahiptir. Son yıllarda oldukça gündemde olan chia tohumu (*Salvia hispanica L.*), Omega-3 (ω -3), protein ve yüksek miktarda antioksidan içeriği ile insan ve hayvan beslemede kullanımı giderek yaygınlaşan bir besindir (Özbek ve Yeşilçubuk, 2018; Ayaşan ve Ayaşan, 2020). Chia, Labiate ailesinin bir üyesidir ve tohumları, fenolik bileşikler ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından zengindir (Alagawany ve ark., 2020). Chia tohumu, ekstraktı ya da yağı kullanılarak gerçekleştirilen hayvan besleme çalışmaları oldukça sınırlı sayıdadır. Schettino ve ark. (2017) keçi rasyonlarına chia tohumu ilavesinin keçi sütü yağ asidi profili üzerine etkisini inceledikleri bir çalışmada; chia tohumu ilavesi yapılan deneme gruplarında, kontrol grubuna göre rumen fermentasyonunun olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Alagawany ve ark. (2020) ise bildircin rasyonlarına 0,4 g/kg chia yağı ilavesinin büyüme performansını, kan parametrelerini ve yağ profilini iyileştirdiğini; antioksidan ve bağışıklık parametreleri üzerine ise herhangi bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Kanatlılarda yapılan diğer çalışmalarda, rasyonlara chia ilavesinin performans ve antioksidan parametreleri üzerine herhangi bir olumsuz etkisi olmadığını ve iyileştirdiğini bildirirken (Uribe ve ark., 2011; Asad ve ark., 2019; Nasr ve ark., 2019; Rasul ve ark., 2019; Mendonça ve ark., 2020), bu çalışma sonuçlarının aksine Ayerza ve ark. (2002) etlik piliç rasyonlarına chia tohumu ilavesinin performansı olumsuz etkilediği sonucuna varmışlardır. Ayerza ve Coates (2006), Holstein ineklerinin rasyonlarına chia tohumu ilavesi süt miktarını azaltırken, sütteki yağ asidi kompozisyonunu olumlu yönde etkilediğini ve sütteki kolesterol seviyesini düşürdüğünün bildirmişlerdir. Günümüzde antibiyotiklere alternatif olarak öbiyotik katkı maddeleri (probiyotikler, enzimler, bitki tohumları vs.) üzerine çalışmalar insanlarda ve hayvanlarda yapılmış olsa da; bitkisel tohum ve probiyotik/ enzim ilavesinin özellikle ruminant hayvanlarda kullanımına dair herhangi bir literatüre rastlanmamıştır. Bu çalışmada; chia tohumu ve probiyotik/enzim karışımının ayrı ve kombine olarak Tuj koyunlarında kullanımının performans, rumen ve bazı kan parametreleri üzerine etkilerini belirlemesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma Kafkas Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'nun (KAÜHADYK/2018-094) iznine dayalı olarak yapılmıştır. Denemede 1,5 yaşında ortalama 40,5 kg canlı ağırlığındaki 20 adet dişi Tuj koyun ırkı kullanılmıştır. Çalışma Kafkas Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde yürütülmüştür. 7 günlük adaptasyon periyodundan sonra, 14 gün boyunca 1 kontrol 3 deneme grubu

olacak şekilde ve her grupta 5 hayvan bulunacak şekilde hayvanlar denemeye alınmıştır. Deneme boyunca hayvanlara günlük olarak 250g kaba yem (çayır otu), 350g silaj ve 380g konsantre yem karışımı günde 2 kere saat 07:00 ve 16:00'da verilmiştir. Hayvanlar, uygun şekilde tasarlanmış metabolik kafeslerde (135x120x66 cm³) bireysel beslenmeye tabi tutulmuş ve normal davranışlarını sürdürmekte serbest bırakılmışlardır.

Kontrol grubuna temel rasyon verilirken, diğer deneme gruplarına sırasıyla %2,5 chia tohumu (CT), 1g/kg probiyotik enzim karışımı (P+E) ve %2,5 CT + 1g/kg P+E ilavesi yapılmıştır. Taze içme suyu *ad libitum* olarak sağlanmıştır. Rasyon doğum yapmış hayvanların gereksinimlerini karşılayacak şekilde hazırlanmıştır (NRC, 2001). Deneme gruplarına ilave edilen chia tohumu yerel marketlerden alıp, öğütülerek rasyona katılmıştır. Aynı zamanda denemede kullanılan probiyotik+enzim karışımı (Diazyme-256-R) ticari özel bir firmadan temin edilmiştir (Tarımsan Kimya/ İstanbul). Kullanılan ticari ürün içeriği Tablo 1'de verilmiştir. Rasyon besin madde ve enerji içerikleri hesaplama yoluyla bulunmuş olup, denemede kullanılan rasyon Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. Denemede kullanılan probiyotik/enzim karışımı katkısının içeriği

Aktif Madde	Miktar
Lactobacillus farciminis	2×10^{11} cfu/kg
Saccharomyces cerevisiae	$3,75 \times 10^{11}$ cfu/kg
Bacillus subtilis	8×10^9 cfu/kg
Bacillus licheniformis	8×10^9 cfu/kg
Lactobacillus acidophilus	1×10^9 cfu/kg
Enterococcus faecium	2×10^8 cfu/kg
Pediococcus acidilactici	1×10^9 cfu/kg
Endo-1,4 beta-pentosanaz	3.300,00 epu/g
Alfa-amilaz	1,10 skbu/g
1,4 Beta Glukanaz	55,00 cu/g
Proteaz	55,00 cu/g
Galaktomannanaz	15,00 cfu/kg

2.1. Büyüme Performansı: Toplam günlük yem tüketimi, sabahları bir önceki güne ait fazla kalan yem tartılarak değerlendirildi. Günlük kaba yem tüketimi, 5 mm bir elekten toplam rasyon içeriği geçirildikten sonra fazla kalan konsantre ve kuru ot tartılarak belirlendi. Canlı ağırlıklar, deneme başlangıcı ve deneme sonunda hayvanlar bireysel olarak tartılarak tespit edilmiş olup, canlı ağırlık artışları iki tartım arasındaki aralığa bölünmesi ile elde edildi. Yemden yararlanma oranları, 1 kg ağırlık artışı için toplam kuru madde alımı hesaplanarak belirlendi.

2.2. Rumen parametreleri: Deneme sonunda, rumen sıvıları koyunlarda rumen sondası ile alınmıştır. Örnekler sabah yemlemeden 2 saat önce ve yemlemeden 8 saat sonra toplanıp, hemen pH ölçümleri yapılmıştır (Accumet, Fisher Scientific, ABD). Rumen sıvısı örneklerinde amonyak nitrojen analizi için, 10 ml sıvıya 3-5 damla konsantre H₂SO₄ ilave edilip ve daha sonra dört kat tülbentten süzülmüştür. Numuneler hemen 3000 devirde 15 dakika süre ile oda sıcaklığında (23 ± 2°C) santrifüj edilmiş ve toplam uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonu Markham steam distilasyon yöntemi ile

belirlenmiştir. Örnekler analizleri daha sonra yapılmak üzere -20°C’ de saklanmıştır. Dondurulmuş rumen sıvısı örnekleri 4°C’de çözdürülmüştür. 2 ml filtrelenmiş rumen sıvısı, 0,5 ml %25 meta-fosforik asit ile karıştırılıp, bir mikro-santrifüj kullanılarak 15000 devirde 15 dakika süre ile santrifüj edilmiştir (Gyrozen 1524, Daejeon, South Korea). Supernatantlar, enjektör ile 0,22 mm gözenek çaplı bir filtre ünitesi (Millex Filter Unit, Merck Millipore Ltd., Tullagreen, Ireland) kullanılarak süzöldükten sonra, filtre edilenler şişelere aktarılmıştır (Chromacol, Thermo Fisher Scientific, Orlando, FL, USA.) Toplam uçucu yağ asitlerinin analizi bir otomatik numune toplayıcı (AI 1310, Thermo Scientific, Orlando, FL, USA), bir polietilen glikol kolonu (uzunluk: 60 m, i.d: 0,25 mm, film kalınlığı: 0,25 µm) ve bir alev iyonizasyon detektörü ile donatılmış bir gaz kromatografi (TRACETM 1300, Thermo Fisher Scientific, Orlando, FL, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak 1,5 ml/dakika sabit akış hızında helyum kullanılmıştır. Kullanılan enjeksiyonun hacmi 0,5 µl olmuştur. Örnekler split mod ile enjekte edilmiştir. Enjeksiyonun port sıcaklığı ise 280°C olmuştur. Fırın sıcaklığı 160°C’den 180 °C’ye 20°C/dakika artacak şekilde programlanmıştır. Hava akışı 350 ml/dakika, hidrojen akışı 35 ml/dk olmuştur. FID dedektörünün sıcaklığı 300°C, fırın çalışma süresi 10 dakika olarak belirlenmiştir. Mmol/L olarak ifade edilen VFA konsantrasyonları, bir Xcalibur yazılım programı (Thermo Scientific, Orlando, FL, USA) kullanılarak tanımlanmıştır. VFA [asetik (A), bütirik (B) ve propiyonik (P) asitler] yüzdeleri ve A/P ve (A+B)/P oranları hesaplanmıştır (Ersahince ve Kara, 2017).

2.3. Kan Parametreleri: Denemenin 21. gününde denemede kullanılan tüm hayvanlarından *V. jugularis*’ ten uygun teknikle vakumlu kan tüpleri kullanılarak alınmıştır. Kan örnekleri 3000 devirde (rpm) 10 dakika süre ile santrifüj edilerek (Nüve, Türkiye) elde edilen serumlar analiz zamanına kadar -20°C’de muhafaza edilmiştir. Elde edilen serumlardan ticari kit kullanımı ile spektrofotometrik yöntem kullanılarak (EPOCH, Biotech USA) esterleşmemiş yağ asitleri (NEFA) (Randox, USA), betahidroksibütirikasit (BHBA) (Randox Ranbut, USA), malondialdehit (MDA), kalsiyum (Ca), fosfor (P), total protein (TP), glikoz (GLK), nitrikoksit (NO) değerleri ölçülmüştür.

2.4. İstatistiksel Analiz: İstatistiksel analiz SPSS 20 programı kullanılarak yapıldı. Her grup için istatistiksel hesaplamalar varyans analiz yöntemine göre yapılmıştır. Gruplar arası farkın anlamlılık kontrolü için Duncan testi yapılmıştır. Veriler ortalama ± SEM olarak temsil edildi (ortalamanın standart hatası). P değeri 0,05’ten küçük olduğunda farklılıkları anlamlı kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Denemede kullanılan rasyon içeriği Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneme rasyonu ve besin madde içerikleri

Yem Maddeleri (%)	Chia Tohumu (CT)+ Probiyotik/Enzim (P+E) İlavesi Yapılan Konsantre Yem İçeriği (%)*			
	%0	%2,5 CT	1 g/kg P+E	%2,5 CT+ 1 g/kg P+E
Mısır	33	33	33	33
Buğday Kepeği	15	13	15	13
Arpa	11	10,5	11	10,5
Ayçiçeği Küspesi, 28	10	10	10	10
Pamuk Tohumu Küspesi, 31	10	10	10	10
Kolza Küspesi	4	4	4	4
Razmol	4	4	4	4
Melas	5	5	5	5
Mercimek	5	5	5	5
Chia Tohumu	-	2,5	-	2,5
Mermer Tozu	2,05	2,05	2,05	2,05
Tuz	0,7	0,7	0,7	0,7
Vit-Min Karması ¹	0,25	0,25	0,25	0,25
Besin Madde İçeriği (%)**				
KM	100	100	100	100
HP	18,03	18,02	18,03	18,02
Ca	1,08	1,09	1,08	1,09
P	0,65	0,65	0,65	0,65
Na	0,4	0,4	0,4	0,4
HS	9,05	9,67	9,05	9,67
HK	7,54	7,51	7,54	7,51
HY	3,48	4,06	3,48	4,06
NDF	24	24	24	24
ADF	11	11	11	11
ME, Mcal/kg	2,81	2,81	2,81	2,81

¹Vit-Min Karması: Her bir kg'da Vitamin A: 10.000.000 IU, Vitamin D3: 2.000.000 IU, Vitamin E: 30.000 mg, Mn: 50.000 mg, Fe: 50.000 mg, Zn: 50.000 mg, Cu: 10.000 mg, I: 800 mg, Co: 150 mg, Se: 150 mg

*İzokalorik ve izonitrojenik olarak hazırlanmıştır.

**Hesaplama Yolu ile bulunmuştur.

Tablo 3. Koyunların deneme başı ve sonu canlı ağırlıkları (CA), günlük canlı ağırlık artışları (GCAA), günlük yem tüketimleri (GYT) ile yemden yararlanma oranları (YYO) (n=20)

	Başlangıç CA (kg)	Bitiş CA (kg)	GCAA (g)	GYT (g/gün)	YYO
Kontrol	40,25±0,38	42,13±0,34	134,53±6,63	838,09±45,43	6,24±0,30
%2,5 CT	40,67±0,17	42,58±0,25	136,91±17,54	771,43±16,49	5,81±0,72
1g/kg P+E	40,92±0,42	42,83±0,54	136,90±14,92	871,43±44,61	6,48±0,55
%2,5 CT+1g/kg P+E	40,33±0,60	42,17±0,48	130,95±13,42	842,86±53,61	6,57±0,73
P değeri	0,671	0,601	0,988	0,443	0,815

3.1. Büyüme performansı

Tuj koyunlarının başlangıç ve bitiş canlı ağırlıkları (CA), günlük canlı ağırlık artışı (GCAA), günlük yem tüketimi (GYT) ve yemden yararlanma oranı (YYO)'nın deneme boyunca etkilenmediği görülmüştür. Koyunların deneme başlangıcı canlı ağırlıkları 40,25-40,92 kg arasında değişmiştir (Tablo 3). Deneme sonu CA ise 42,13-42,83 kg arasında saptanmıştır. Deneme süresince GCAA 130,95-136,91 g arasında değişmiş ve gruplar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur (P>0,05). Koyunların günlük ortalama yem tüketimleri 771,43 ile 871,43 g/gün, yemden yararlanma düzeyleri

ise 5,81 ile 6,57 değerleri arasında saptanmıştır. Koyunların rasyonlarına chia ve/veya probiyotik+enzim ilavesinin besi performansı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Probiyotik ürünlerin rasyonlara ilavesi ile GCAA, YYO ve ekonomik verimdeki gelişme, besin maddelerinin sindirilebilirliğinden kaynaklanabilir. Rasyonlara zengin enzimler ve bakteriyel canlı hücrelerden oluşan probiyotik ürünlerin ilavesinin, besi sığırlarında GCAA ve YYO'nu iyileştirdiği görülmüştür (Salem ve ark., 2013). Yapılan birçok çalışmada, ruminant rasyonlarına probiyotik ilavesinin performans üzerine olumsuz etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Jia ve ark., 2018; Hassan ve ark., 2020). Fenolik bileşiklerden zengin fonksiyonel yağlı tohumlar ile beslemenin, hem ruminant hayvanlarda hem de kanatlılarda faydalı olduğuna dair önceki çalışmalardan elde edilen güçlü kanıtlar vardır (Lillehoj ve ark., 2018; Rasul ve ark.,2019; Alagawany ve ark., 2020; Li ve ark., 2020; Sadarman ve ark., 2021). Kuzularda yapılan bir çalışma, fenolik bileşik içeren bitki tohumları ile beslemenin, yüksek konsantreli diyetle veya düşük konsantreli diyetle büyüme oranını ve azot metabolizmasını sürekli olarak iyileştirdiğini göstermiştir (Cherif ve ark., 2018). Yapılan bir diğer çalışmada, chia tohumuna benzer şekilde doymamış yağ asitlerince zengin çörek otunun keçi rasyonlarına ilavesi ile iştahın az miktarda arttığı, bu sayede besin madde alımını ve performansı olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. (Habeb ve ark., 2012). Benzer şekilde kuzu rasyonlarına keten tohumu yağı ilavesinin performans üzerine herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Lyons ve ark., 2017).

3.2. Rumen Parametreleri

Araştırmada koyun rasyonuna ilave edilen Chia ve/veya probiyotik+enzim ilavesine bağlı olarak rumen sıvısı açıklık pH'sı 6,13 ile 6,57, tokluk pH'sı ise 6,10 ile 6,50 arasında değişmiştir. Tuj koyunları rasyonlarına ayrı ve kombine olarak ilave edilen öbiyotik katkı maddelerinin rumen pH'sı üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$) (Tablo 4).

Tablo 4. Koyun rasyonlarına Chia ve /veya probiyotik+enzim ilavesinin rumen sıvısı pH'sı üzerine etkisi (n=20)

	Kontrol	%2,5 CT	1g/kg P+E	%2,5 CT+1g/kg P+E	P
pH Aç	6,57±0,07	6,57±0,28	6,13±0,15	6,57±0,03	0,236
pH 8 saat	6,50±0,06	6,30±0,12	6,10±0,10	6,40±0,21	0,250

Deneme sonunda rumen açıklık uçucu yağ asitleri konsantrasyonları incelendiğinde; deneme gruplarında rumen İsobütirik asit, İsovalerik asit ve propiyonik asit konsantrasyonları üzerine muamelelerin bir etkisi olmamıştır ($P>0,05$). Bununla birlikte, CT ilavesinin yapıldığı deneme grubunda rumen valerik asit konsantrasyonu diğer deneme gruplarına göre artarken ($P=0,001$), CT ve P+E kombinasyonun ilave edildiği deneme grubunda rumen valerik asit konsantrasyonu kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur ($P=0,001$). Chia tohumun probiyotik/ enzim karışımı ile birlikte koyun rasyonlarına katılması, koyunlarının rumenindeki bütirik asit konsantrasyonunu diğer deneme gruplarına göre artırırken ($P=0,001$), yalnızca P+E ilavesi yapılan koyun rasyonu ile beslenen deneme grubunda

kontrol grubu ile karşılaştırıldığında rumen bütirik asit konsantrasyonu en yüksek seviyede bulunmuştur (P=0,001). Temel rasyon ve CT ilave edilen rasyonlarla beslenen koyunlarda, CT ve P+E kombinasyonu ile beslenen koyunlara göre rumende daha düşük (P=0,030) seviyede asetik asit konsantrasyonu tespit edilmiştir. Açlık toplam VFA bakımından en yüksek değer ise CT ve P+E ile beslenen deneme grubunda bulunmuştur (P=0,032). Deneme sonunda deneme hayvanlarından tok karnına alınan rumen içerikleri incelendiğinde; kontrol grubuna göre CT ilavesi ile beslenen deneme gruplarında sırası ile rumen valerik asit, propiyonik asit konsantrasyonları en yüksek seviyede bulunmuştur (P=0,001; 0,002). Probiyotik+enzim ilavesi yapılan deneme gruplarında ise; rumen tokluk bütirik asit ve asetik asit konsantrasyonlarının en yüksek seviyelerde olduğu (P=0,005; 0,011); CT ve E+P kombinasyonları ile beslenen deneme gruplarında ise isobütirik asit ve isovalerik asit seviyelerinin kontrol ve diğer deneme gruplarına göre yüksek olduğu tespit edilmiştir (P=0,001). Toplam VFA seviyesi ise, probiyotik+enzim ilavesi yapılan deneme grubunda en yüksek seviyede bulunmuştur (P=0,032) (Tablo 5).

Tablo 5. Koyun rasyonlarına Chia ve /veya probiyotik+enzim ilavesinin açlık ve tokluk rumen parametreleri üzerine etkisi (n=20)

Açlık Parametreleri	Kontrol	%2,5 CT	1g/kg P+E	%2,5 CT+1g/kg P+E	P
İsobütirik asit	0,14±0,05	0,22±0,04	0,26±0,04	0,30±0,01	0,373
İsovalerik asit	0,19±0,07	0,31±0,07	0,31±0,06	0,36±0,01	0,477
Valerik asit	0,51±0,03 ^c	1,37±0,22 ^a	0,79±0,04 ^{bc}	0,99±0,99 ^b	0,001
Bütirik asit	6,49±0,99 ^c	9,26±1,06 ^{bc}	12,26±0,73 ^b	15,46±1,40 ^a	0,001
Propionik asit	15,34±0,01	14,90±0,89	14,75±1,17	16,36±1,31	0,658
Asetik asit	36,05±6,27 ^b	37,62±7,65 ^b	51,77±7,64 ^{ab}	57,08±4,26 ^a	0,030
tVFA	58,72±7,23 ^c	63,68±8,34 ^{bc}	80,14±6,07 ^{ab}	90,56±4,88 ^a	0,010
Tokluk Parametreleri	Kontrol	%2,5 CT	1g/kg P+E	%2,5 CT+1g/kg P+E	P
İsobütirik asit	0,11±0,02 ^c	0,09±0,03 ^c	0,20±0,02 ^b	0,32±0,01 ^a	0,001
İsovalerik asit	0,13±0,03 ^c	0,11±0,03 ^c	0,22±0,02 ^b	0,36±0,02 ^a	0,001
Valerik asit	0,50±0,06 ^c	2,11±0,13 ^a	0,95±0,17 ^b	0,70±0,09 ^{bc}	0,001
Bütirik asit	7,35±0,93 ^b	12,35±1,05 ^a	12,41±1,40 ^a	9,15±0,65 ^b	0,005
Propionik asit	8,66±0,88 ^c	16,52±0,83 ^a	15,41±2,38 ^{ab}	11,80±0,59 ^{bc}	0,002
Asetik asit	36,33±5,58 ^b	41,32±3,76 ^{ab}	52,71±6,29 ^a	38,53±2,84 ^{ab}	0,011
tVFA	53,07±7,43 ^b	72,49±2,54 ^{ab}	81,91±10,16 ^a	60,86±3,90 ^b	0,032

Aynı satırda farklı harfleri taşıyan değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,05)
tVFA = Toplam uçucu yağ asitleri

Ruminant rasyonlarına probiyotik ve prebiyotik ilavesinin, yüksek enerjili diyetlerle beslenen hayvanlarda sub-akut ruminal asidoz riskini azaltarak, stabilize edici bir rumen pH'sı oluşumuna neden olabileceği öne sürülmüştür (Lettat ve ark., 2012). Bununla birlikte, çok sayıda faktör söz konusu olduğundan (öbiyotiklerin dozu ve türü, diyet enerji yoğunluğu ve beslenme stratejileri vs.), bu konudaki araştırma bulguları tutarsızlık göstermiştir. Bazı araştırmacılar (Jia ve ark., 2018; Hassan ve ark., 2020; Zapata ve ark., 2021) *S. uvarum* ve *S. cerevisiae* takviyesinin pH'yı etkilemediğini, bazıları

ise canlı *S. cerevisiae* takviyesinin ruminal pH'yı arttırdığını (Khadem ve ark., 2007; Garcia-Diaz ve ark., 2018), Tripathi ve Karim (2011) ise çalışmalarında azalttığını bildirmiştir. Probiyotik veya prebiyotik ilavesi ile ruminal pH'daki değişiklikler (artışlar/düşüşler), genellikle laktat fermente eden bakterilerin aktivitesindeki ve/veya sayısındaki değişikliklerle, ruminal protozoa ve mantar popülasyonundaki ve rumen VFA üretimindeki değişikliklerle ilişkili olabilmektedir (Ding ve ark., 2014). Probiyotik takviyesi, rumen mikrobiyal popülasyonunu değiştirip, ortamı lif sindiren bakteriler için daha elverişli hale getirebilir, böylece rumende üretilen VFA tipi ve oranlarında bir değişikliğe neden olabilir (Amin ve Mao, 2021). Uçucu yağ asitleri, besi koyunlarının rumen epitel gelişimine katkıda bulunan rumen fermantasyonunun başlıca ürünleridir. Sunulan çalışma verileri ile benzerlik gösteren, Sadiek ve Boehm (2001) ve Abd El-Ghani (2004) *pronifer* veya *S. cerevisiae* ile beslenmenin sırasıyla koyun ve keçilerin toplam VFA üretimini arttırdığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Zapata ve ark., (2021) yapmış oldukları çalışmada kuzu rasyonlarına probiyotik ve prebiyotik ilavesinin, rumen toplam VFA konsantrasyonunun artırdığını bildirmişlerdir. Yine, Khadem ve ark. (2007) ile Krizova ve ark. (2011)'ın koyun ve süt inekleri rasyonlarına probiyotik ilavesinin, toplam VFA konsantrasyonunu artırdığı yönünde bildirişleri mevcuttur. Bu çalışmaların aksine, kuzularda ve koyunlarda yapılan farklı çalışmalarda probiyotik destekli diyetlerle beslemenin rumen toplam VFA oluşumunda herhangi bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir (Tripathi ve ark., 2008; Garcia-Diaz ve ark., 2018; Jia ve ark., 2018). Genel olarak çalışma verilerine bakıldığında, ayrı ve kombine olarak CT ve P+E ilavesinin besin madde sindirilebilirliğini olumlu yönde etkileyerek, rumen uçucu yağ asitleri miktarlarını pozitif yönde desteklediği görülmüştür. Xiao ve ark. (2016), süt ineklerinin rasyonlarına *S. cerevisiae* ilavesinin rumende bütirat konsantrasyonunu arttırmada etkili olduğunu, benzer şekilde bir başka çalışmada; asetat, propiyonat ve toplam VFA konsantrasyonuna ek olarak, artan bütirat konsantrasyonu gözlemlenmiştir (Zhu ve ark., 2017). Aynı şekilde, buzağular (Hučko ve ark., 2009) ve süt inekleri (Malekhhahi ve ark., 2016) üzerinde yapılan diğer araştırmalar, rasyonlara probiyotik ilavesinin asetatın propiyonata oranının daha yüksek olmasına ek olarak, artan bir asetat konsantrasyonuna yol açtığı bildirmiştir. Bu çalışmaların aksine, Opsi ve ark. (2012); probiyotik ilavesinin VFA üretiminde asetat ve propiyonat konsantrasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Propiyonik asit, geniş getiren hayvanlarda glikoz kaynağı ve glukoneogenez için temel substrat olduğundan dolayı, bir enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere rumen papillaları tarafından hızla emilir ve enerji üretimi, rumen papilla ve epitel gelişimi için de kullanılır (Amin ve Mao, 2021). Çalışmada rumen tokluk VFA konsantrasyonunda en yüksek (%16,52) propiyonik asit seviyesinin CT tohumu eklenen deneme grubunda gözlemlenmesi, ω -3 yağ asitleri bakımından zengin olan CT'nun rumende enerji kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, Lyons ve ark. (2017) kuzu rasyonlarına keten tohumu yağı ilavesinin rumen tVFA konsantrasyonunu etkilemediğini, yüksek propiyonik asit seviyesinin kontrol grubuna göre keten tohumu yağı ilavesi yapılan deneme grubunda olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın aksine, süt ineklerinin

rasyonlarına keten tohumu yağı ilavesinin propiyonik asit seviyesini düşürdüğü bildirilmiştir (Ueda ve ark., 2003).

3.3. Kan Parametreleri

Araştırma sonunda deneme hayvanlarından alınan kan örnekleri incelendiğinde, gruplara ait NEFA, BHBA, NO, MDA, Ca, P, TP ve GLK değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Serum parametreleri incelendiğinde NEFA (P=0,048), BHBA (P=0,001), NO (P=0,002) ve Ca (P=0,006), değerlerindeki değişimlerin önemli olduğu belirlenmiştir. Fosfor, MDA, TP ve GLK değerlerinin ise muameleler arasında farklılık göstermediği tespit edilmiştir (P>0,05). Chia tohumun probiyotik+enzim ile birlikte koyun rasyonlarına katılması, serum NEFA konsantrasyonunu diğer deneme gruplarına göre azaltırken (P=0,048), yalnızca chia tohumu ilavesi yapılan koyun rasyonu ile beslenen deneme grubunda kontrol grubu ile karşılaştırıldığında BHBA konsantrasyonu en düşük seviyede bulunmuştur (P=0,001). Ruminant hayvanlarda serum NEFA seviyesinin 1mmol/L'nin üzerine çıkması subklinik ketozis eşiği olarak değerlendirildiğinde, sunulan çalışmada deneme grupları arasında farklılıklar gözlemlenmiş olsa bile sonuçlar normal sınırlar içerisinde bulunmuştur (Sajadian ve ark., 2013). Yalnız Chia ilavesi yapılan deneme grubunda kandaki NO değeri, diğer deneme gruplarına göre yüksek bulunmuştur. Nitrik oksit, en önemli reaktif azot türleri arasındadır. Jia ve ark. (2018), probiyotik katkı maddesinin MDA ve toplam antioksidan kapasite değerlerini etkilemediğini bildirirken, Kafilzadeh et al. (2019), probiyotik takviyesinin koyunların kan plazma metabolit içeriğini ve enzim aktivitelerini nadiren etkilediğini bulmuşlardır. Didarkhah ve Vatandoost (2021), probiyotik ve prebiyotik katkı maddesinin erkek kuzularda GLK ve trigliserit, toplam plazma protein konsantrasyonlarını etkilemediğini bildirmiştir. Meena ve ark. (2021)'nin koyun rasyonlarına ayrı ve kombine olarak sarımsak ve probiyotik ilavesinin serum GLK ve TP üzerine herhangi bir etkisinin olmadığını bildirdikleri çalışma, sunulan çalışmayı desteklemektedir. Benzer şekilde, rasyonlara chia tohumu yağı ilavesinin serum MDA ve serum toplam protein konsantrasyonu üzerine etkisinin olmadığı, antioksidan ve bağışıklık parametrelerini etkilemediği bildirilmiştir (Alagawany ve ark., 2020).

Tablo 6. Koyun rasyonlarına Chia ve /veya probiyotik+enzim ilavesinin bazı kan parametreleri üzerine etkisi (n=20)

Parametreler	Kontrol	%2,5 CT	1g/kg P+E	%2,5 CT+1g/kg P+E	P
NEFA	0,38±0,01 ^{ab}	0,42±0,02 ^a	0,41±0,02 ^{ab}	0,37±0,01 ^b	0,048
BHBA	0,34±0,01 ^b	0,30±0,01 ^c	0,39±0,01 ^a	0,37±0,02 ^{ab}	0,001
NO	7,39±0,14 ^b	8,23±0,11 ^a	7,49±0,05 ^b	7,60±0,23 ^b	0,002
MDA	6,58±0,17	6,49±0,11	6,35±0,03	6,37±0,07	0,394
Ca	9,12±0,14 ^b	9,43±0,02 ^b	9,77±0,17 ^a	9,37±0,05 ^b	0,006
P	3,33±0,04	3,56±0,11	3,37±0,09	3,54±0,04	0,097
TP	9,18±0,16	9,40±0,03	9,25±0,20	9,32±0,09	0,698
GLK	61,80±1,08	62,77±0,43	60,90±0,19	61,40±0,91	0,362

Aynı satırda farklı harfleri taşıyan değerler arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,05)

NEFA=Esterleşmemiş yağ asitleri, BHBA= Betahidroksibütrikasit, NO= Nitrik oksit, MDA= Malondialdehit,

TP=Toplam protein, GLK= Glikoz

4. Sonuç

Çalışma sonuçları, koyun rasyonlarına ayrı ve kombine olarak öbiyotik katkı maddesi ilavesinin, besin madde alımını artırarak rumen uçucu yağ asitleri düzeyini yükselttiği ve enerji alımını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Chia tohumu ve probiyotik+enzim ilavesinin kombine olarak koyun rasyonlarına ilavesinin yapıldığı bu çalışma verilerinin özellikle NEFA ve BHBA değerleri bakımından bundan sonraki çalışmalar için referans olabileceği düşünülmektedir.

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

- Abd El-Ghani AA. Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats. *Small Ruminant Research* 2004; 52(3): 223-229.
- Alagawany M., Nasr M., Al-Abdullatif A., Alhotan RA., Azzam MM., Reda FM. Impact of dietary cold-pressed chia oil on growth, blood chemistry, haematology, immunity and antioxidant status of growing Japanese quail. *Italian Journal of Animal Science* 2020; 19(1): 896-904.
- Amin AB., Mao S. Influence of yeast on rumen fermentation, growth performance and quality of products in ruminants: A review. *Animal Nutrition* 2021; 7(1): 31-41.
- Asad T., Mehmood S., Mahmud A., Basheer A., Saleem G., Jatoi AS., Hussain J., Husnain F, Younis M. Ameliorating effect of different anti-stressors on growth performance, and immunophysiological responses in heat stressed broilers chickens. *Pakistan Veterinary Journal* 2019; 39(2): 285-288.
- Ayaşan T., Ayaşan Ş. İnsan ve hayvan beslenmesinde chia (*Salvia hispanica*) kullanılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 3(1): 48-57.
- Ayerza R., Coates W. Influence of chia on total fat, cholesterol, and fatty acid profile of Holstein cow's milk. *Revista Científica de UCES* 2006; 2: 39-48.
- Ayerza R., Coates W., Lauria M. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as an x-3 fatty acid source for broilers: Influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meats, growth performance, and sensory characteristics. *Poultry Science* 2002; 81(6): 826-837.
- Cherif M., Valenti B., Abidi S., Luciano G., Mattioli S., Pauselli M., Bouzarraa I., Priolo A., Salem BH. Supplementation of *Nigella sativa* seeds to Barbarine lambs raised on low- or high-concentrate diets: Effects on meat fatty acid composition and oxidative stability. *Meat Science* 2018; 139: 134-141.

- Didarkhah M., Vatandoos TM. The effect of probiotic and prebiotic supplements on growth performance, blood parameters and skeletal growth of Baluchi male lambs. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2021 12(4): 411-422.
- Ding G., Chang Y., Zhao L., Zhou Z., Ren L., Meng Q. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on alfalfa nutrient degradation characteristics and rumen microbial populations of steers fed diets with different concentrate-to-forage ratios. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2014; 5(1): 1-9.
- Ersahince AC., Kara K. Nutrient composition and in vitro digestion parameters of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) herbage at different maturity stages in horse and ruminant. *Journal of Animal and Feed Sciences* 2017; 26(3): 213-225.
- Foksowicz-Flaczyk J., Wójtowski JA., Danków R., Mikołajczak P., Pikul J., Gryszczyńska A., Łowicki Z., Zajączek K., Stanisławski D. The effect of herbal feed additives in the diet of dairy goats on intestinal lactic acid bacteria (LAB) count. *Animals* 2022; 12(3): 255.
- Garcia-Diaz T., Ferriani Branco A., Jacovaci FA., Cabreira Jobim C., Bolson DC., Pratti Daniel JL. Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *PLoS One* 2018; 13(2): e0193313.
- Guedes CM., Gonçalves D., Rodrigues MAM., Dias-da-Silva A. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre degradation of maize silages in cows. *Animal Feed Science and Technology* 2008; 145(1-4): 27-40.
- Habeeb AAM., El-Tarabany AA. Effect of nigella sativa or curcumin on daily body weight gain, feed intake and some physiological functions in growing Zaraibi goats during hot summer season. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2012; 5(2): 60-78.
- Hassan A., Gado H., Anele UY., Berasain MAM., Salem AZM. Influence of dietary probiotic inclusion on growth performance, nutrient utilization, ruminal fermentation activities and methane production in growing lambs. *Animal Biotechnology* 2020; 31(4): 365-372.
- Hossain SA., Parnerkar S., Haque N., Gupta RS., Kumar D., Tyagi AK. Influence of dietary supplementation of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on nutrient utilization, ruminal and biochemical profiles of Kankrej calves. *International Journal of Applied Animal Sciences* 2012; 1(1): 30-38.
- Hučko B., Bampidis VA., Kodeš A., Christodoulou V., Mudřík Z., Poláková K., Plachý V. Rumen fermentation characteristics in pre-weaning calves receiving yeast culture supplements. *Czech Journal of Animal Science* 2009; 54(10): 435-442.
- Jia P., Cui K., Ma T., Wan F., Dang W., Yang D., Wang Y., Guo B., Zhao L., Diao Q. Influence of dietary supplementation with *Bacillus licheniformis* and *Saccharomyces cerevisiae* as alternatives to monensin on growth performance, antioxidant, immunity, ruminal

- fermentation and microbial diversity of fattening lambs. *Scientific Reports* 2018; 8(1): 16712.
- Kafilzadeh F., Payandeh S., Gómez-Cortés P., Ghadimi D., Schiavone A., Marín ALM. Effects of probiotic supplementation on milk production, blood metabolite profile and enzyme activities of ewes during lactation. *Italian Journal of Animal Science* 2019; 18(1): 134-139.
- Khadem AA., Pahlavan M., Afzalzadeh A., Rezaeian M. Effect of live yeast *Saccharomyces cerevisiae* on fermentation parameters and microbial populations of rumen, total tract digestibility of diet nutrients and on the in situ degradability of alfalfa in Iranian Chall sheep. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2007; 10(4): 590-597.
- Krizova L., Richter M., Trinacty J., Ríha J., Kumprechtova D. The effect of feeding live yeast cultures on ruminal pH and redox potential in dry cows as continuously measured by new wireless device. *Czech Journal of Animal Science* 2011; 56(1): 37-45.
- Landers TF., Cohen B., Wittum TE., Larson EL. A review of antibiotic use in food animals: perspective, policy, and potential. *Public Health Reporting* 2012; 127(1): 4-22.
- Lettat A., Noziere P., Silbergberg M., Morgavi DP., Berger C., Martin C. Rumen microbial and fermentation characteristics are affected differently by bacterial probiotic supplementation during induced lactic and subacute acidosis in sheep. *BMC Microbiology* 2012; 12, 142.
- Li F., Zhang Z., Li X., Zhu B., Guo L., Li F., Weng X. Effect of duration of linseed diet supplementation before slaughter on the performances, meat fatty acid composition and rumen bacterial community of fattening lambs. *Animal Feed Science and Technology* 2020; 263, 114457.
- Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S., Fernandez-Miyakawa ME., Chi F., Cravens RL., Oh S., Gay CG. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Veterinary Research* 2018; 49(1): 1-18.
- Lopez-Soto MA., Vald'es-García YS., Plascencia A., Barreras A., Castro-Pérez BI., Estrada-Angulo A., Ríos FG., Gomez-Vázquez A., Corona L., Zinn RA. Influence of feeding live yeast on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in steers fed a steam-flaked corn-based diet. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science* 2013; 63(1): 39-46.
- Lyons T., Boland T., Storey S., Doyle E. Linseed oil supplementation of lambs' diet in early life leads to persistent changes in rumen microbiome structure. *Frontiers in Microbiology* 2017; 8: 1656.
- Malekhhahi M., Tahmasbi AM., Naserian, AA., Danesh-Mesgaran M., Kleen JL., AlZahal O., Ghaffari MH. Effects of supplementation of active dried yeast and malate during sub-acute ruminal acidosis on rumen fermentation, microbial population, selected blood metabolites, and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 2016; 213: 29-43.

- Markowiak P., Slizewska K. The role of probiotics, prebiotics, and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens* 2018; 10(1): 21.
- McAllister TA., Beauchemin KA., Alazeh AY., Baah J., Teather RM., Stanford K. Review: The use of direct fed microbials to mitigate pathogens and enhance production in cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 2011; 91(2): 193-211.
- Meena MK., Joshi M., Nagar M. Effect of feeding herb (*Allium sativum*) and probiotic (*Saccharomyces cerevisiae*) alone or in combination with ground nut straw based complete feed on haemato- biochemical parameters of Sonadi sheep. *The Pharma Innovation Journal* 2021; 10(6): 277-280.
- Mendonça NBSN., Sobrane Filho ST., Oliveira DH, Lima EMC, Rosa PVE, Faria PB, Naves LP., Rodrigues PB. Dietary chia (*Salvia hispanica L.*) improves the nutritional quality of broiler meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2020; 33(8): 1310-1322.
- Nasr MAF., Mohammed H., Hassan RA., Swelum AA., Saadeldin IM. Does light intensity affect the behaviour, welfare, performance, meat quality, amino acid profile and egg quality of Japanese quails? *Poultry Science* 2019; 98(8): 3093-3102.
- Niewold TA. The nonantibiotic anti-inflammatory effect of antimicrobial growth promoters, the real mode of action? A hypothesis. *Poultry Science* 2007; 86(4): 605-609.
- NRC (National Research Council). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press. 2001.
- Opsi F., Fortina R., Tassone S., Bodas R., López S. Effects of inactivated and live cells of *Saccharomyces cerevisiae* on in vitro ruminal fermentation of diets with different forage: concentrate ratio. *The Journal of Agricultural Science* 2012; 150(2): 271-283.
- Özbek T., Yeşilçubuk NŞ. Süper besin: Chia tohumu (*Salvia hispanica L.*). *Beslenme ve Diyet Dergisi* 2018; 46(1): 90-96.
- Rasul M., Mehmod S., Ahmad S., Javid A., Mahmud A., Rehman A., Usman M., Hussain J., Ahmad M., Azhar M. Effects of different anti-stressors on growth, serum chemistry and meat quality attributes of Japanese. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2019; 21(1): 1-10.
- Sadarman Febrina D., Yendraliza Haq MS., Nurfitriani RA., Barkah NN., Sholikin MM., Yunilas Qomariyah N., Jayanegara A., Solfaine R., Irawan A. Effect of dietary black cumin seed (*Nigella sativa*) on performance, immune status, and serum metabolites of small ruminants: A meta-analysis. *Small Ruminant Research* 2021; 204: 106521.
- Sadiq A., Boehm J. Influence of pronifer as a probiotic on the rumen fluid and blood parameters of sheep fed different roughage concentrate based diets. *Wiener Tierärztliche Monatschrift* 2001; 88 (1): 4-10.
- Sajadian R., Seifi HA., Mohri M., Naserian AA., Farzaneh N. Variations of energy biochemical metabolites in periparturient dairy Saanen goats. *Comparative Clinical Pathology* 2013; 22(3): 449-456.

- Salem AZM., Gado HM., Colombatto D., Eghandour MMY. Effect of exogenous enzymes on nutrient digestibility, ruminal fermentation and growth performance in beef steers. *Livestock Science* 2013; 154(1-3): 69-73.
- Schettino B., Vega S., Gutierrez R., Escobar A., Romeo J., Dominguez E. Fatty acid profile of goat milk in diets supplemented with chia seed (*Salvia hispanica L.*). *Journal Dairy Science* 2017; 100(8): 6256-6265.
- Tripathi MK., Karim SA. Effect of yeast cultures supplementation on live weight change, rumen fermentation, ciliate protozoa population, microbial hydrolytic enzymes status and slaughtering performance of growing lamb. *Livestock Science* 2011; 135(1): 17-25.
- Tripathi MK., Karim SA., Chaturvedi OH., Verma DL. Effect of different liquid cultures of live yeast strains on performance, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in lambs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 2008; 92(6): 631-639.
- Ueda K., Ferlay A., Chabrot J., Loor JJ., Chilliard Y, Doreau M. Effect of linseed oil supplementation on ruminal digestion in dairy cows fed diets with different forage: concentrate ratios. *Journal of Dairy Science* 2003; 86(12): 3999-4007.
- Uribe JAR., Perez JIN., Kauil HC., Rubio GR., Alcocer CG. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids* 2011; 56(2): 174-178.
- Uyeno Y., Shigemori S., Shimosato T. Effects of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity: minireview. *Microbes and Environments* 2015; 30(2): 126-132.
- Wang Z., He Z., Beauchemin KA., Tang S., Zhou C., Han X., Wang M., Kang J., Odonga NE., Tan Z. Comparison of two live *Bacillus* species as feed additives for improving in vitro fermentation of cereal straws. *Animal Science Journal* 2016; 87(1): 27-36.
- Xiao JX., Alugongo GM., Chung R., Dong SZ., Li SL., Yoon I., Wu ZH., Cao ZJ. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on dairy calves: Ruminal fermentation, gastrointestinal morphology, and microbial community. *Journal of Dairy Science* 2016; 99(7): 5401-5412.
- Zapata O., Cervantes A., Barreras A., Monge-Navarro F., Gonzalez-Vizcarra VM., Estrada-Angulo A., Urias-Estrada JD., Corona L., Zinn RA., Martinez-Alvarez IG. Effects of single and combined supplementation of probiotics and prebiotics on ruminal fermentation, ruminal bacteria and total tract digestion. *Small Ruminant Research* 2021; 204, 106538.
- Zhu W., We Z., Xu N., Yang F., Yoon I., Chung Y., Liu J., Wang J. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on performance and rumen fermentation and microbiota in dairy cows fed a diet containing low quality forage. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2017; 8(1): 1-9.



Cam Elyaf/EPDM/Poliamit-6 Kompozitlerin Mekanik Performansının ve Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

Hüseyin ÜNAL^{1*}, Salih Hakan YETGİN², Veysel Furkan ÜNAL³

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus/Mersin

³Johannes Kepler University, Faculty of Engineering, Dept. of. Polymer Engineering, Linz, Austria

¹<http://orcid.org/0000-0003-0521-6647>

²<http://orcid.org/0000-0002-6068-9204>

³<http://orcid.org/0000-0002-6639-0393>

*Sorumlu yazar: unal@sakarya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 25.11.2021

Kabul tarihi: 26.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

PA6

EPDM

Cam elyaf

Mekanik özellikler

ÖZ

Poliamit-6 polimerine ilave edilen EPDM elastomeri, malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü gibi değerlerini azaltırken ilave edilen cam elyaflar kompozitin kopma uzamasını azaltmaktadır. Dolayısıyla endüstrinin talep ettiği yüksek mekanik özelliklere yani yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve üstün kırılma tokluğu (darbe enerjisi) gibi özelliklere sahip kompozitlerin elde edilebilmesi için elastomer ve elyaf takviyeli polimer kompozitlerin birlikte üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, katkısız poliamit 6 (PA6) polimeri ile ağırlık olarak %8 oranında Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) katkılı poliamit 6 (PA6-8EPDM), %10 oranında cam elyaf (CE) takviyeli poliamit 6 (PA6-10CE) ve %10 CE ve %8 oranında Etilen-Propilen-Dien-Monomer katkılı poliamit 6 (PA6-10CE-8EPDM) polimer kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Poliamit-6 esaslı polimer kompozitler, endüstriyel tip ikiz vidalı bir ekstrüder makinesinde önce granül formda üretilmiş sonra da mekanik test numuneleri geleneksel tip bir enjeksiyon makinesi kullanılarak basılmıştır. Çalışma sonucunda, PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM çekme mukavemetini %19.3, elastiklik modülünü %41.4 oranında azaltırken darbe mukavemetini %14.1 oranında artırmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki cam elyaf ise çekme mukavemetini %23.6, elastiklik modülünü %64.8 oranında artırırken darbe mukavemetini %63,4 oranında azaltmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğilmedeki elastiklik modülünü sırasıyla %67.0 ve %94.0 oranlarında artırmıştır.

Determination of Mechanical Performance and Microstructural Properties of Glass Fiber/EPDM/Polyamide-6 Composites

Research Article

Article History:

Received: 25.11.2021

Accepted: 26.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

PA6

EPDM

Glass fiber

Mechanical properties

ABSTRACT

The EPDM elastomer added to polyamide-6 (PA-6) polymer reduces the tensile strength and modulus of elasticity of the material, while the added glass fibers decrease the elongation at break of the composite. Therefore, it is of great importance to produce elastomer and fiber reinforced polymer composites together in order to obtain composites with high mechanical properties demanded by the industry, namely high strength, high rigidity and superior fracture toughness (impact energy). In this experimental study, mechanical behaviors of unfilled PA-6 polymer, 8wt.% of Ethylene-Propylene-Diene-Monomer (EPDM) filled polyamide-6 (PA6-8EPDM), 10wt.% of glass fiber (GF) filled polyamide-6 (PA6-10GF) and 10wt.% GF/8wt.% EPDM filled polyamide-6 (PA6-10GF-8EPDM) polymer composites were investigated.

Polyamide-6 based polymer composites were first produced in granule form in an industrial type twin screw extruder machine and then the mechanical test samples were molded using a conventional type injection molding machine. As a result of the study, the tensile strength decreased by 19.3%, the modulus of elasticity decreased by 41.4%, while the impact strength increased by 14.1% with the addition of 8wt.% EPDM to the PA6 polymer. On the other hand, with the addition of 10wt.% glass fiber to the PA6 polymer, the tensile strength increased by 23.6%, the modulus of elasticity increased by 64.8% and the impact strength decreased by 63.4%. The flexural strength and flexural modulus of the PA6 composite increased by 67.0% and 94.0% with the addition of 10wt.% GF to PA6 polymer, respectively.

To Cite: Ünal H., Yetgin SH., Ünal VF. Cam Elyaf/EPDM/Poliamit-6 Kompozitlerin Mekanik Performansının ve Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1216-1229.

1. Giriş

Poliamit 6 (PA6) polimeri, düşük maliyet, yüksek akma dayanımı, rijitliğin bir göstergesi olan yüksek moleküler ağırlık ve kristallenme oranı gibi üstün fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle otomotiv sektörü, elektrik/elektronik ve ambalaj sektöründe birçok mühendislik ürünlerinin üretiminde yaygın kullanılan önemli bir mühendislik polimeridir. Ancak, PA6 polimeri, yüksek nem alma, düşük sıcaklıklarda düşük darbe dayanımı, kuru kayma şartları altında yüksek aşınma, zayıf ölçüsel kararlılık, düşük termal bozunma sıcaklığı, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, % uzama ve elastiklik modülü gibi mekanik özellikler nedeniyle de kullanım alanı sınırlanmaktadır (Çuvalcı ve ark., 2014; Liang ve ark., 2014; Dryzek ve ark., 2017; Tarun ve ark., 2020; Tıtire ve ark., 2021).

PA6 polimerinin çentik duyarlı bir polimer olduğu bilinmektedir. Çatlak yayılmasına ve ilerlemesine karşı oldukça hassastır ve PA6 polimeri düşük sıcaklıkta gevrek bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla darbe dayanımı oldukça zayıftır ve düşük sıcaklıkta gevrek bir deformasyon gösterirler (Tanrattanakul ve ark., 2008). PA6 polimerinin darbe dayanımını artırmak için son yıllarda bünyesine doğal kauçuk (NR), etilen-propilen-kauçuğu (EPR), stiren-etilen-ko-bütülen-stiren (SEBS), etilen-propilen-dienmonomer (EPDM) gibi elastomer ilave edilerek harmanlanması oldukça yoğun ilgi görmektedir (Shao-Yun ve ark., 2006; Tanrattanakul ve ark., 2008; Shojaei ve Fereydoon, 2009; Caramitu ve ark., 2013; Tıtire ve ark., 2021). EPDM elastomeri karbon siyahı, fiberler, yağlar, kütleme ajanları gibi maddeleri içeren sentetik kauçuğun tek katmanlı membran halidir. EPDM, kimyasal yapısı gereği sıcaklığa (+150 °C), havaya, ozona, ışığa, oksidasyona ve suya mükemmel direnç gösterir. Elektriksel olarak yalıtıcıdır (Ravishankar ve ark., 2012). %300'ün üzerinde kopma uzaması gösterebilirler. -40°C'de bile özelliklerini koruyabilmektedir. +150 °C gibi sıcaklıklarda birçok polimer yumuşarken EPDM hala iyi mekanik özellikler göstermektedir. Caramitu ve ark., (2013) %10-20 ve %30 oranlarında EPDM katkılı PA6 kompozitlerin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. EPDM miktarına bağlı olarak çekme dayanımı, akma dayanımı, elastiklik modülü, eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü azalırken kopmadaki uzama değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Artan EPDM miktarı ile kristallenme oranı azalırken oksidasyon başlangıç sıcaklığının arttığını gözlemlemişlerdir. Tıtire ve ark., (2021) %40 oranında EPDM katkılı PA6 polimerinin farklı hızlardaki çekme ve darbe mukavemet özelliklerini incelemişlerdir. EPDM kauçuğu katkılı PA6

polimer karışımının elastiklik modülü değeri azalırken kopmadaki uzama değerinin arttığını da belirtmişlerdir.

PA6 polimerinin mekanik, fiziksel ve termal özelliklerini geliştirmenin diğer bir yöntemi ise cam, karbon ve aramit elyaf gibi mukavemet artırıcı malzemelerin polimer bünyesine katılmasıdır. Bunların içerisinde cam elyaf (CE), polimer matrisin özelliklerini geliştirmek için yaygın kullanılan mukavemet artırıcı malzemelerden en önemlisi olup düşük maliyet, yüksek çekme dayanımı, yüksek rijitlik, mükemmel korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık ve yalıtım özellikleri sağlarlar (Nuruzzaman ve ark., 2016; Essabir ve ark., 2018; Niyaraki ve ark., 2021). Son yıllarda, farklı elyaf çeşitleri katkılı PA6 esaslı kompozitlerin fiziksel, termal ve mekanik özelliklerini anlayabilmek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Ke-Qing ve ark., 2005; Liang ve ark., 2014; Çuvalcı ve ark., 2014; Abdulkadir ve ark., 2006; Chen ve ark., 2019). Liang ve ark., (2014) %10, %15 ve %20 oranlarında karbon elyaf takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik, termal ve kristallenme özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında artan karbon elyaf miktarı ile kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin artarken kopma uzaması değerinin azaldığını belirlemişlerdir. %20 karbon elyaf içeriğinde poliamit esaslı kompozitlerin çekme dayanımı ve elastiklik modülünün sırasıyla %50 ve %60 oranlarında arttığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde artan karbon elyaf oranı ile kompozitin depolama modülü değeri artarken kayıp modülünün zincir hareketliliğinin kısıtlanması ve sonucunda artan viskozite nedeniyle değişmediğini gözlemlemişlerdir. Karbon elyafın heterojen çekirdekleyici ajan gibi davranarak PA6 polimerinin kristalliğini ve termal kararlılığını artırdığını da belirtmişlerdir. Zaldua ve ark., (2019) karbon elyaf ve CE takviyeli PA6 esaslı kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda PA6 polimerine ilave edilen CE ve karbon elyafın kompozitin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerini önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Ke-Qing ve ark., (2005) uzun CE takviyeli PA6 kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Artan CE oranı ile kompozitin çekme dayanımı, eğme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin arttığı, çentikli darbe dayanımının ise %50 CE içeriğine kadar arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Isı altında deformasyon sıcaklığı değerinin ise artan CE oranı ile arttığı ve PA6 polimerinin hemen hemen ergime sıcaklığına ulaştığı belirtilmiştir. Çuvalcı ve ark., (2014) ağırlıkça %70 oranına kadar CE takviyeli döküm PA6 polimerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda %50 CE oranına kadar çekme dayanımının ve çekmedeki elastiklik modülü değerinin arttığı bu değerden sonra ise azaldığı belirtilmiştir. Çalışmalarında yüksek elyaf içeriğinde mukavemet azalmasının sebebi olarak matris ile fiber arasındaki ıslatma kabiliyeti ile ilişkili olduğu ve tüm elyafların polimer matris tarafından iyi bir şekilde sarılamadığı belirtilmiştir. Ayrıca artan CE katkı oranı ile kopma uzamasının ve darbe enerjisinin azaldığı belirtilmiştir. Abdulkadir ve ark., (2006) %15 ve %30 oranlarında amino-silan kaplı CE takviyeli PA6 ve polipropilen (PP) kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. PA6 ve PP polimerlerine ilave edilen ve artan CE oranı ile kompozitlerin çekme dayanımının arttığı kopmadaki % uzama değerinin azaldığı, darbe dayanımının ise %15 CE içeriğinde azaldığı %30 CE içeriğinde ise arttığı belirtilmiştir. Kusaseh ve

ark., (2018) %70PA6/%30PP karışımına ilave ettikleri %5, 10, 15 ve 20 oranlarındaki cam elyafın PA6/PP polimer karışımı kompozitin eğilme ve darbe dayanımlarını inceledikleri çalışmada artan CE oranına bağlı olarak kompozitin eğilme dayanımı ve eğmedeki elastiklik modülü değerinin arttığı darbe dayanımının ise azaldığı belirtilmiştir. Nuruzzaman ve ark., (2016) %5-10-15-20 oranlarında CE katkılı PA6 polimerinin mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada kompozitteki CE oranının artması ile kompozitin çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin arttığı kopma uzaması değerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Darbe enerjisinin ise %15 CE içeriğine kadar arttığı bu oranın üzerinde ise azaldığı belirtilmiştir.

Literatürde de görüldüğü gibi PA6 polimerine ilave edilen EPDM elastomeri çekme dayanımı ve elastiklik modülü gibi değerleri azaltırken PA6 polimerine ilave edilen CE ise kopma uzamasını azaltmaktadır. Dolayısıyla endüstrinin talep ettiği yüksek mekanik özelliklere yani yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve üstün kırılma tokluğu (darbe enerjisi) gibi özelliklere sahip kompozitlerin elde edilebilmesi için elastomer ve elyaf takviyeli polimer kompozitlerin birlikte **hibrit olarak** üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada da %8 oranında EPDM elastomeri ile %10 oranındaki cam elyafın PA6 polimerinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiş ve uygun malzeme seçimi yapılmıştır.

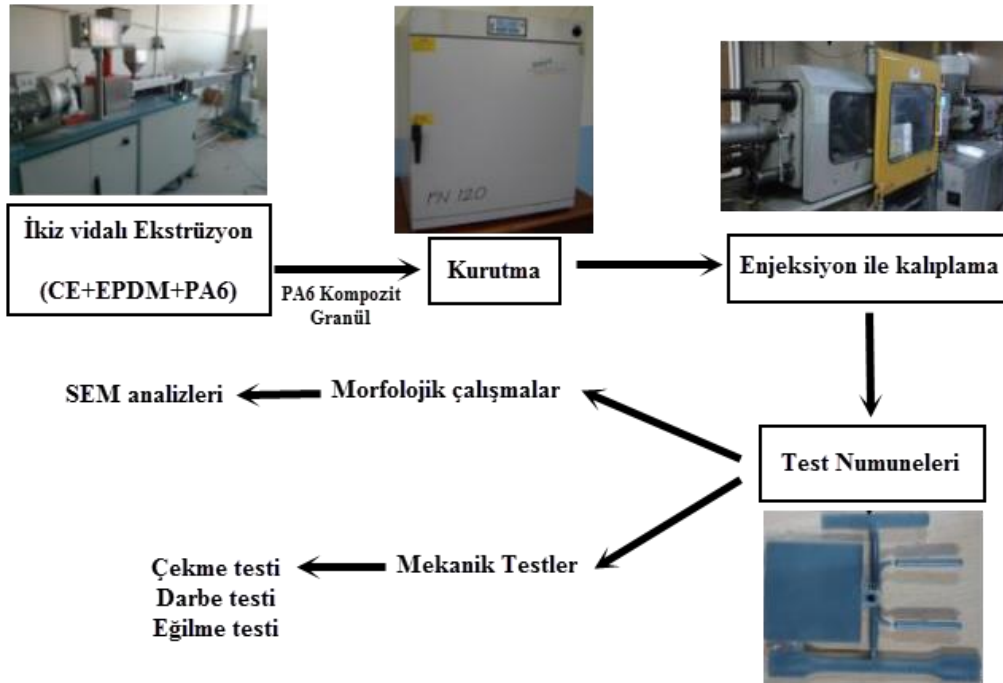
2. Materyal ve Metot

Ağırlıkça %8 oranında EPDM ve ağırlıkça %10 oranında CE katkılı PA6 kompozitlerin üretiminde, Domopolimer firmasından temin edilen Domomid ticari kodlu Poliamit-6 polimeri matris malzeme olarak kullanılmıştır. Exxon Mobil firmasından temin edilen Exxelor kodlu EPDM elastomeri ile Cam Elyaf Sanayi firmasından temin edilen 10,5 µm çapında 6 mm uzunluğunda kırılmış CE, katkı malzemeleri olarak kullanılmıştır. Cam elyaf ve EPDM katkılı PA6 kompozitlerin üretiminde ikiz vidalı ekstrüzyon prosesi (Vida çapı: 75, L/D:32) ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde besleme hunisi ile ekstrüzyon kalıbı arasındaki sıcaklık dağılımı 180 °C-250 °C olarak belirlenmiştir. Bir defa ekstrüde edilen CE/EPDM/PA6 kompozisyonlu polimer granüller kurutulduktan sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile çekme, darbe ve eğme numuneleri basılmıştır. Enjeksiyon kalıplama yönteminde ise besleme hunisi ve kalıp arasındaki sıcaklık dağılımı 220°C-245 °C arasında seçilmiştir. Çekme testleri ASTM D638 standardına uygun olarak Zwick Roell Z-020 makinesinde, oda sıcaklığında ve 50 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır. Darbe deneyleri ASTM D256 standardına uygun olarak Zwick B5113 darbe makinesinde yapılmış, numuneler ise 4x10x80 mm³ boyutlarında enjeksiyon makinasında basılmıştır. Daha sonra numunelerin 10 mm olan kısmının ortasına 2 mm derinliğinde 45⁰ açılı V-çentik açılmıştır. Darbe testleri için izod darbe testi yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde numunelerin darbe enerjisi joule cinsinden belirlenmiş olup elde edilen değer, numunenin çentikten sonra kalan alanına bölünerek izod darbe mukavemeti değeri cihaz tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Eğilme testleri ise ASTM D790 standardına uygun olarak

Zwick Roell Z-020 makinesinde yapılmıştır. Tablo 1’de çalışmada kullanılan malzemeler ve kısaltmaları, Şekil 1’de ise CE ve EPDM katkı PA6 kompozitlerin üretim şeması verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemeler ve kısaltmaları

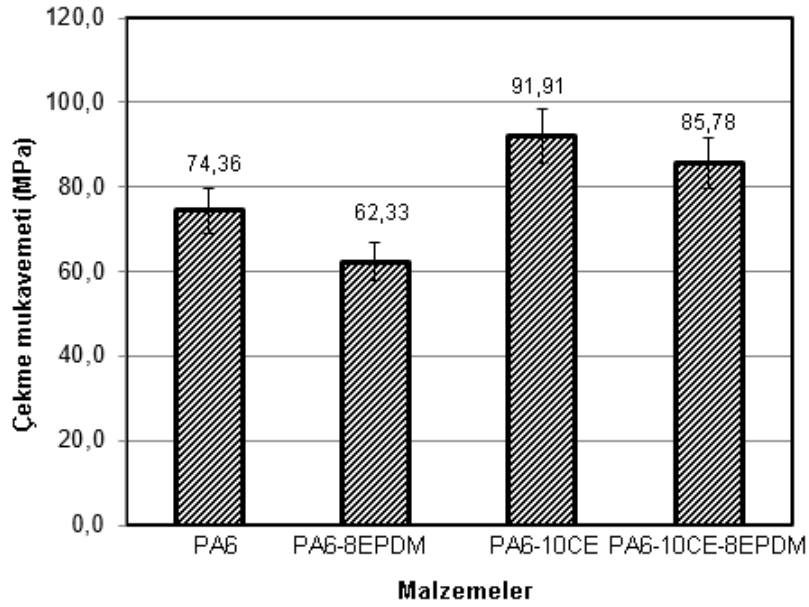
Sıra No	PA6 (ağırlık olarak)	CE (ağırlık olarak)	EPDM elastomer (ağırlık olarak)	Kısaltma
1	100	-	-	PA6
2	92	-	8	PA6-8EPDM
3	90	10	-	PA6-10CE
4	82	10	8	PA6-10CE-8EPDM



Şekil 1. EPDM katkı CE takviyeli PA6 kompozitlerin üretim şeması

3. Bulgular ve Tartışma

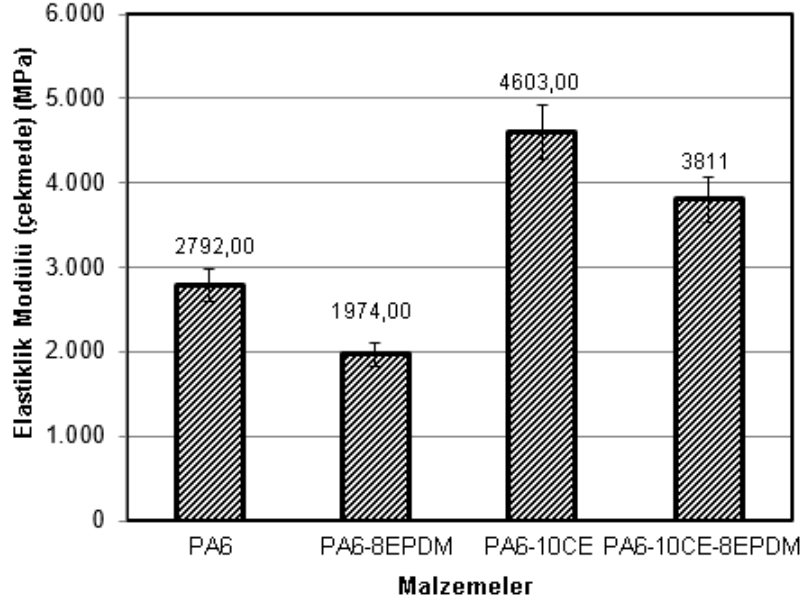
Şekil 2’de saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme mukavemetlerindeki değişim verilmiştir. PA6 polimerinin 74,36 MPa olan çekme mukavemeti %8 oranında EPDM ilavesi ile azalmış ve 62,33 MPa olmuştur. EPDM elastomeri ilavesi ile polimer karışımının çekme mukavemetindeki azalma yaklaşık olarak %19,3 oranındadır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013) ile Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise PA6 polimer kompozitinin çekme mukavemetini %23,6 oranında artırmıştır. Benzer sonuçlar Ke-Qing ve ark., (2005), Dryzek ve ark., (2017) ile Çuvalcı ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise kompozitin çekme mukavemetini yaklaşık %7,14 oranında azaltmıştır.



Şekil 2. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme mukavemetlerinin değişimi

Şekil 3'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin elastiklik modülü değişimi verilmiştir. Elastiklik modülü, katı bir malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür ve bu modül değeri çekme kuvveti altında elastik olarak deforme olacak malzeme direncini ölçmektedir (Nuruzzaman ve ark., 2016). Şekilde görüldüğü gibi saf PA6 polimeri 2792 MPa olan bir elastiklik modülü değerine sahiptir. PA6 polimerine %8 oranında EPDM ilavesi ile elastiklik modülü değeri yaklaşık %41,4 oranında azalarak 1974 MPa değerine ulaşmıştır. Shojaei ve Fereydoon (2009) tarafından yapılan çalışmada da PA6/EPR-g-MA polimerine %10-20 oranlarında kauçuk ilave edilmesi ile elastiklik modülü değerinin azaldığı, bunun sebebinin ise PA6 polimeri ile karşılaştırıldığında kauçuk fazın çok daha düşük rijitliğe sahip olmasına bağlamışlardır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013), Tıtre ve ark., (2021) ile Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine %10 oranında CE takviyesi ile katkısız PA6 polimerine göre elastiklik modülü değeri yaklaşık %64,8 oranında artarak 4603 MPa değerine ulaşmıştır. Bu artışın sebebi deformasyona karşı direnç derecesinin artması ve sonuçta malzemenin rijitliğinin artmasıdır (Nuruzzaman ve ark., 2016). Benzer sonuçlar Çuvalcı ve ark., (2014) ile Liang ve ark., (2014) tarafından da elde edilmiştir. Liang ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada da fiberin kompozitin dayanımının artmasında önemli bir rol oynadığı, fiberin PA6 polimerinden çok daha sert/mukavemetli olduğu ve fiber ile matris arasında iyi bir arayüzey oluşumunun yük uygulandığında etkili bir gerilim transferine sebep olarak mekanik özellikleri artırdığı belirtilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise elastiklik modülünü %20,7 oranında azaltmıştır. Polimer matris içerisinde hem elastomer hem de rijit bir katkının bulunması ile ilgili olarak, i) polimer matris içerisinde elastomer ve rijit katkının bağımsız olarak dağıldığı ayrılmış (separated) morfoloji, ii) rijit katkının elastomer tarafından sarıldığı çekirdek kabuğu (core-shell) morfolojisi yaygın olarak gözlenen iki morfoloji türüdür. Ayrılmış ya da çekirdek kabuğu

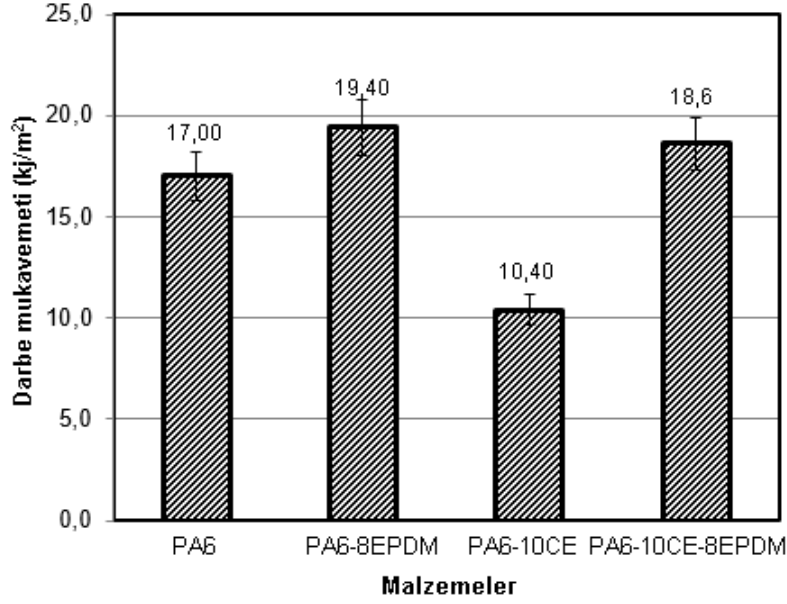
morfolojisine bağı olarak polimer kompozitin mekanik özellikleri önemli oranda etkilenmektedir (Hong ve ark., 2006; Lien ve ark., 2018). Elde edilen mekanik sonuçlar değerlendirildiğinde hem EPDM ve CE katkının bağımsız olarak dağıldığı hem de CE katkının EPDM tarafından sarıldığı morfolojinin oluştuğu değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi

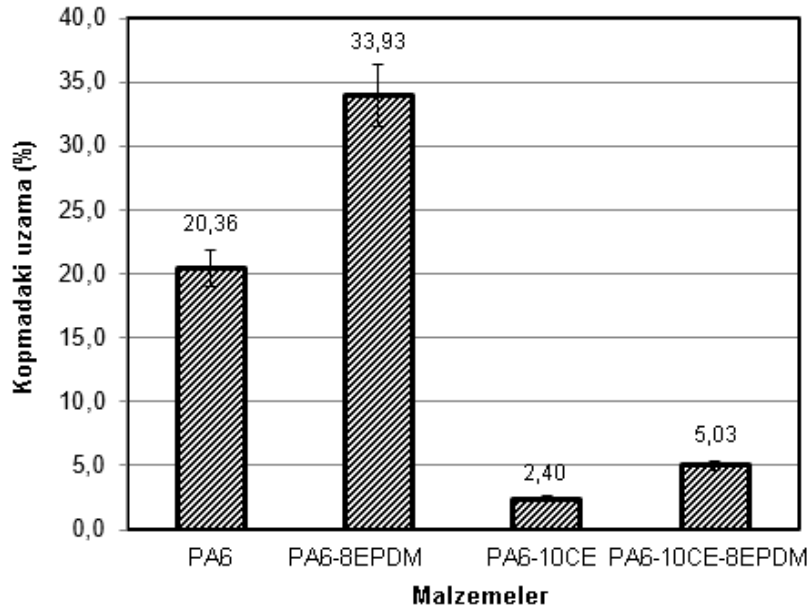
Şekil 4'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemetlerinin değişimi verilmiştir. Beklenildiği gibi PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM PA6/EPDM karışımının darbe mukavemetini artırmıştır. Bu artış yaklaşık olarak %14,1 oranında olmuştur. Ancak Tanrattanakul ve ark., (2008) tarafından yapılan çalışmada PA6 polimerine ilave edilen doğal kauçuğun polimer karışımının darbe dayanımını artırmadığı bunun sebebinin ise kauçuk fazın partikül boyutu ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Partikül boyutunun 1µm'den daha düşük olması durumunda PA6/Kauçuk karışımlarının mekanik özelliklerinin gelişeceği belirtilmiştir. Saf PA6 polimerinin 17 kJ/m² olan darbe mukavemeti %10 oranında CE takviyesi ile %63,4 oranında azalmış ve darbe mukavemeti 10,4 kJ/m² olarak elde edilmiştir. Cam elyaf takviyesi ile birlikte polimer kompozitlerin sünek özelliklerinin azalarak gevrek özelliklerinin arttığı ve bu durumun kompozitin darbe tokluğunu azalttığı belirtilmiştir (Nuruzzaman ve ark., 2016). Benzer sonuçlar Çuvalcı ve ark., (2014) ile Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Çuvalcı ve ark., (2014) hacimsel olarak %5.5 fiber içeriğinde darbe dayanımının 5.24 J/m² olduğunu %54.9 fiber içeriğinde ise darbe dayanımının azalarak 2.42 J/m² elde edildiğini belirtmişlerdir. Kusaseh ve ark., (2018) %70PA6+%30PP karışımına ilave ettikleri %20 oranındaki CE ile darbe dayanımının 78.14 kJ/m²'den 34.70 kJ/m²'ye azaldığı belirtilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri ise kompozitin darbe mukavemeti değerini yaklaşık olarak %78,8 oranında artırmıştır. Niyaraki ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada ise

EPDM elastomerinin kompozitin darbe dayanımını etkilediğini, CE takviyesinin ise elastiklik modülü üzerinde oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. EPDM miktarına bağlı olarak kompozitin darbe dayanımının yaklaşık %28 oranında arttığı, CE oranına bağlı olarak ise darbe dayanımının yaklaşık %25, elastiklik modülünün ise yaklaşık olarak %16 oranında arttığı belirtilmiştir.



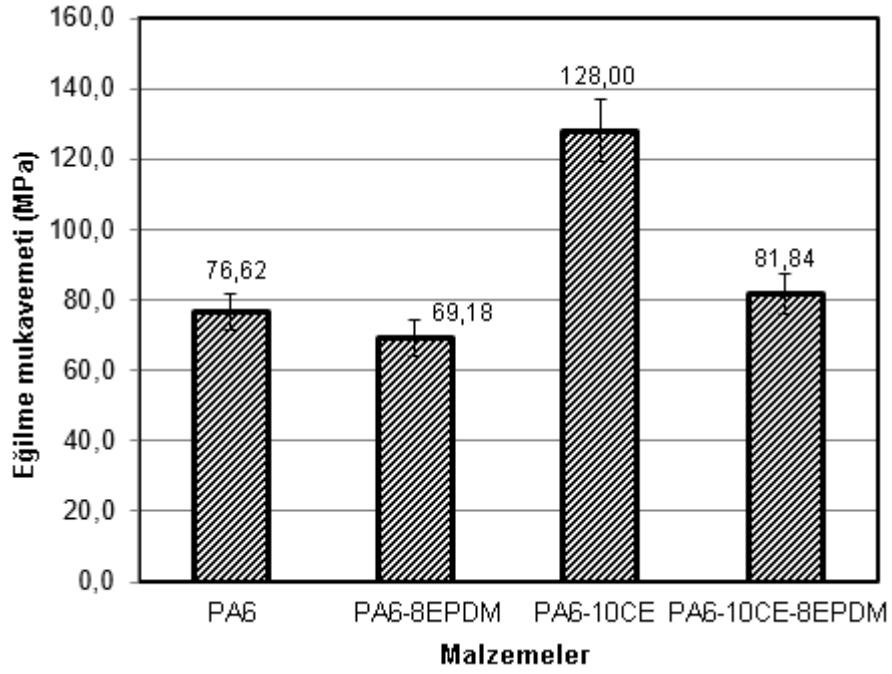
Şekil 4. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin izod darbe mukavemetlerinin değişimi

Şekil 5'te saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi verilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM katkısı polimer karışımının kopma uzaması %66,6 oranında artarken PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE takviyesi kompozitin kopma uzamasını yaklaşık %748,3 oranında azalmasına sebep olmuştur. Çuvalcı ve ark., (2014) kompozitte artan elyaf oranı ile kırılabilirliğin baskın hale geldiğini belirtmişlerdir. E-cam elyafın seramik esaslı bir fiber olduğu ve uzamasının yaklaşık %2,75 olduğu belirtilmiştir. Liang ve ark., (2014) tarafından rijit katkıların veya fiberlerin ilave edilmesinin polimer moleküllerinin zincir hareketliliğini engellediği, bu durumun ise kompozitte mikro-çatlak oluşumuna sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, fiberlerin uçlarındaki artan stres konsantrasyonunun, matriste çatlak oluşumunun bir başka nedeni olduğu belirtilmiştir. Özellikle matrisi çevreleyen fiberlerde numunedeki çatlakların boyutu kritik bir düzeye ulaştığında, matrisin uygulanan yüklere karşı koyamadığı ve daha sonra bu bölgelerde çatlakların ilerlediği belirtilmiştir (Ozkoc ve ark., 2005; Çuvalcı ve ark., 2014). PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri ise kompozitin kopma uzamasını yaklaşık olarak %109,5 oranında artırmıştır. Benzer sonuçlar Tıtre ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir.

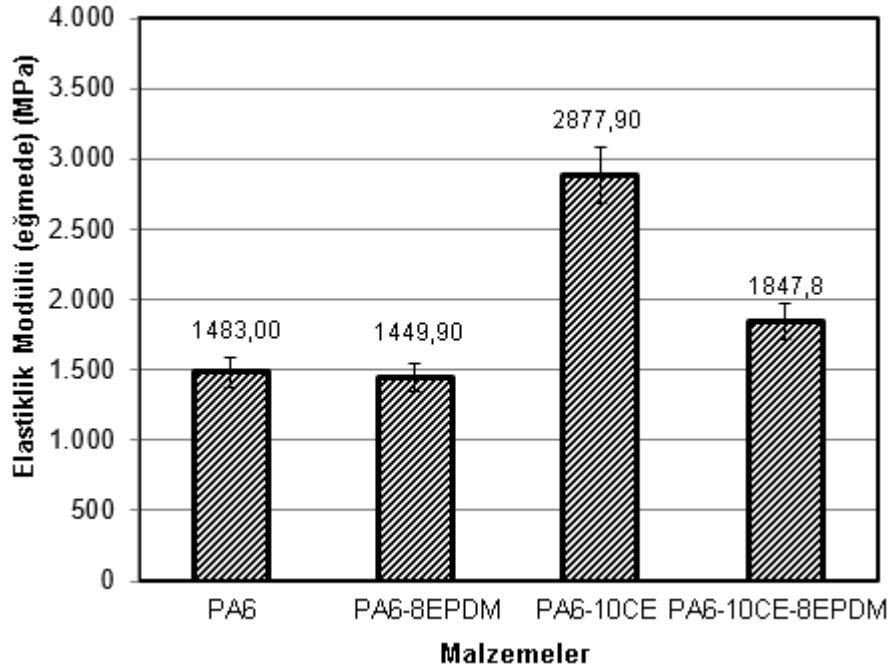


Şekil 5. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin kopmadaki % uzama değerlerinin değişimi

Şekil 6 ve 7’de saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin sırasıyla eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Her iki grafikte incelendiğinde PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM polimer karışımının eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerini hafif bir şekilde azaltmıştır. Benzer sonuçlar Caramitu ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülünü sırasıyla %67,0 ve %94,0 oranlarında artırmıştır. Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada CE ile birlikte deformasyona karşı direncin arttığı dolayısıyla eğilme kuvveti altında polimer kompozitin rijitliğinin arttığı belirtilmiştir. Benzer sonuçlar Ke-Qing ve ark., (2005) ve Kusaseh ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülünü sırasıyla yaklaşık %56,4 ve %55,7 oranlarında azaltmıştır. Bunun sebebi ise PA6 polimeri ve cam elyafa göre EPDM elastomerinin rijitliğinin (4 MPa) oldukça düşük olmasıdır (Qiu ve ark., 2010).



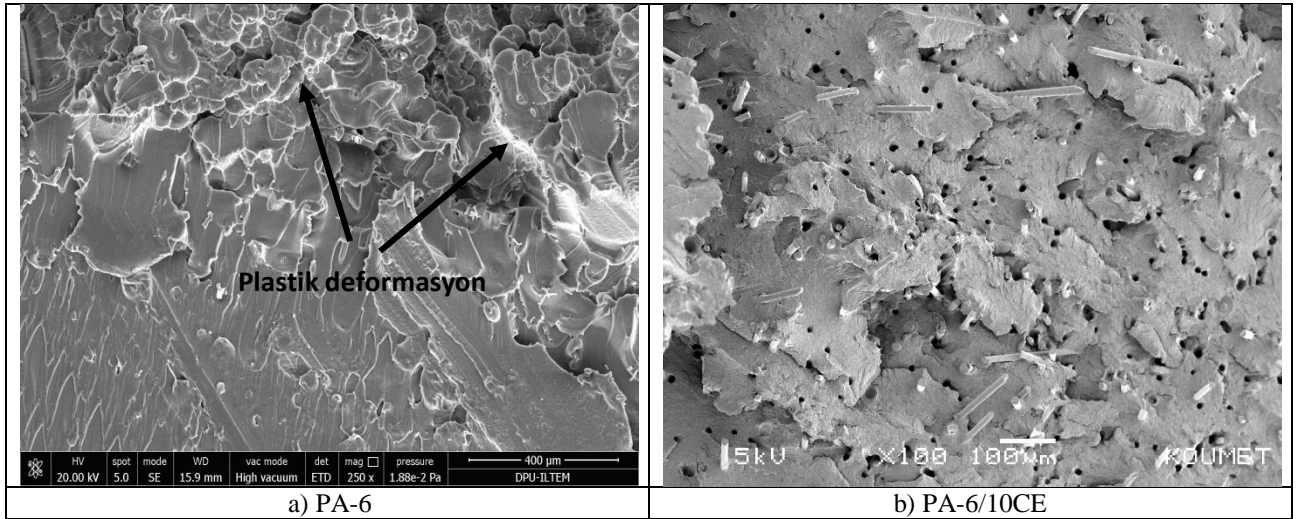
Şekil 6. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin eğilme mukavemetlerinin değişimi

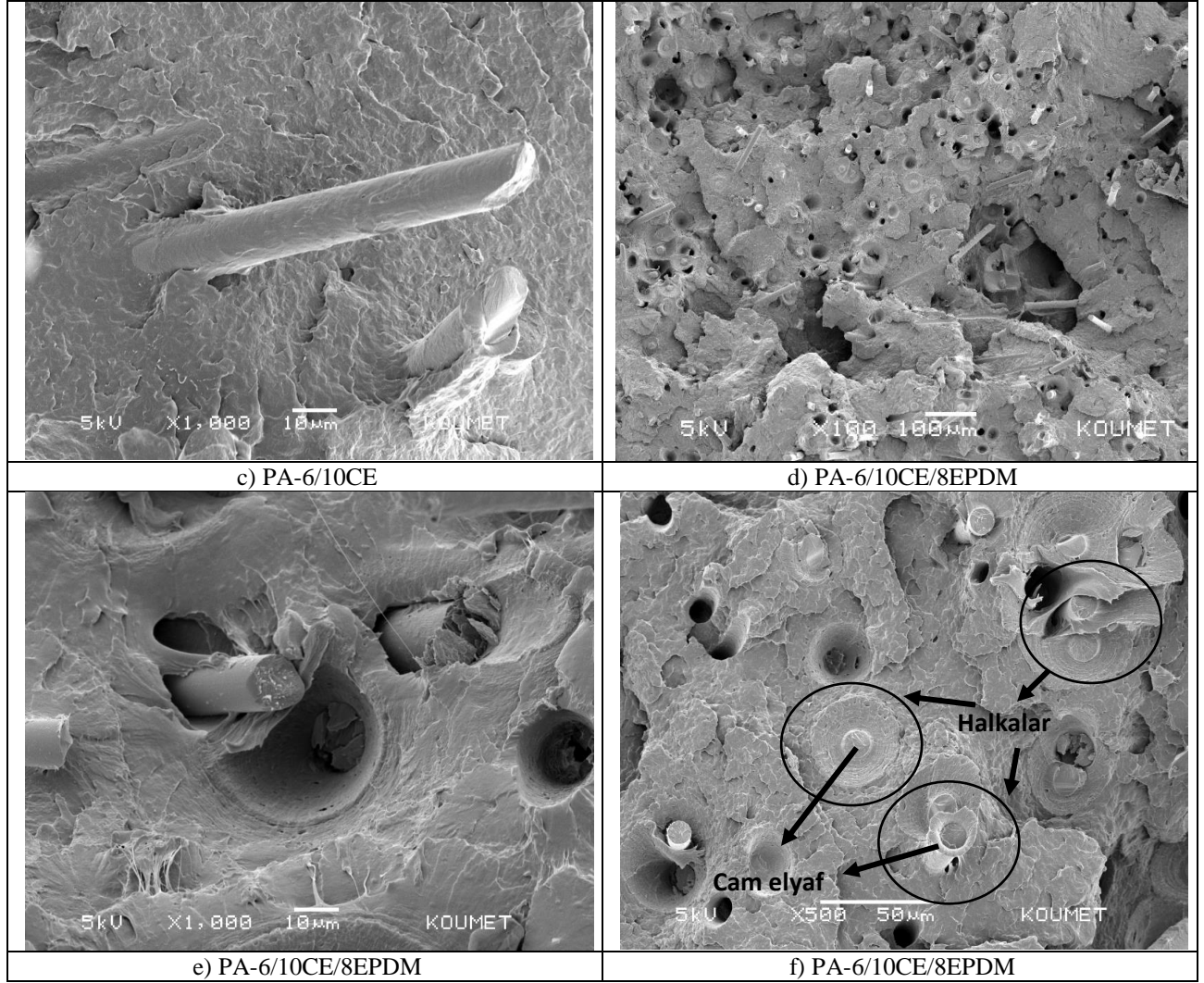


Şekil 7. Saf PA6 polimeri, PA6-8EPDM polimer karışımı ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin eğmedeki elastiklik modülü değerlerinin değişimi

Şekil 8'de saf PA6 polimeri ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme testinde elde edilen kırık yüzeylerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri verilmiştir. Şekil 8-a'da tipik PA6 polimerinin görüntüsü verilmiştir. İyi bilinen kesme mekanizması ile kırılma yüzeyinde sünek kırılmanın olduğu görülmektedir. Kırılma yüzeyindeki beyazlıklar plastik deformasyona uğramış kısımları göstermektedir. Şekil 8-b ve c'de ise tipik CE takviyeli polimer kompozitlerin kırılma yüzey SEM resimleri görülmektedir. Öncelikle Şekil 8.b incelendiğinde matris içindeki cam

elyafların homojen olarak dağıldığı ve herhangi bir topaklaşma olmadığı görülmektedir. Şekil 8-c'de cam elyafların polimer matris tarafından çok iyi sarıldığı görülmektedir. Elyaf yüzeyi incelendiğinde elyaf yüzeylerinin parlak değil yüzeyin pürüzlü olduğu ve yüzey modifikasyonunun olduğu görülmektedir. Bundan dolayı CE ile polimer matris arasındaki arayüzey bağının iyi olduğu görülmektedir. Çekme testi süresince gerilmeler, matris kırılmasından sonra elyafların deforme olmasına yetecek kadar yüksek olduğu Şekil 8-c'de fiber uçlarındaki kırılmadan anlaşılmaktadır. Yani elyaflar kompozit malzemenin çekme mukavemet değerini makul seviyelere çıkardığı görülmektedir. Ancak elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf ile matris arasında iyi bir arayüzey bağı olmazsa cam elyaflar polimer matris içerisinde kırılmak yerine polimer matristen sıyrılarak ayrılacaktır (Li ve ark., 2009). Şekil 8-d, e ve f'de ise tipik CE takviyeli ve EPDM elastomer katkılı polimer kompozitlerin kırılma yüzey SEM resimleri görülmektedir. Şekil 8-d incelendiğinde EPDM/CE/PA6 kompozitinde de cam elyafların matris içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 8-e'de de, Şekil 8-c'ye benzer görüntüler gözlenmiştir. İyi bir matris-elyaf arayüzey bağının olduğu görülmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde CE ve polimer matris arasında koyu halkaların oluştuğu gözlenmiştir. (Şekil 8-f). Bunun sebebi büyük bir olasılıkla polimer matrisin elyaf etrafındaki lokal deformasyonudur (Lozano ve ark., 2001). Bazı bölgelerde ise cam elyafların polimer ve EPDM elastomeri tarafından sarıldığı görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da polimer-elyaf etkileşimi üzerine kauçuk fazın arayüzey yapışmasını geliştirdiği belirtilmiştir (Shojaei ve ark., 2009).





Şekil 8. Saf PA6 polimeri ile PA6-10CE ve PA6-10CE-8EPDM kompozitlerinin çekme testinde elde edilen kırık yüzeylerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri

4. Sonuç

PA6 polimerine ilave edilen %8 oranındaki EPDM elastomeri, polimer karışımının çekme dayanımını %19,3, elastiklik modülünü %41,4 oranında azaltırken darbe dayanımını ise %14,1 oranında artırmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE ise kompozitin çekme dayanımını %23,6 ve elastiklik modülünü %64,8 oranında artırırken darbe dayanımını %63,4 ve kopma uzamasını ise %748,3 oranında azaltmıştır. PA6 polimerine ilave edilen %10 oranındaki CE, kompozitin eğilme mukavemeti ve eğmedeki elastiklik modülü değerlerini sırasıyla %67 ve %94 oranında artırmıştır. PA6-10CE kompozitine ilave edilen %8 oranındaki EPDM ise elastiklik modülünü %20,7 oranında, eğilme mukavemeti ve eğilme modülünü sırasıyla %56,4 ve %55,7 oranlarında azaltmıştır. Kopma uzaması ve darbe dayanımları ise %78,8 ve %109,5 oranlarında artmıştır. Sonuç olarak, PA6-10CE-8EPDM kompozitinin endüstride hem mekanik özelliklerin hem de darbe dayanımının yüksek olması istenen sektörlerde kullanımının uygun olacağı düşünülmektedir.

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

- Abdulkadir G., Ahmet O., Emin O. Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics. *Materials and Design* 2006; 27: 316–323.
- Caramitu AR., Traian Z., Sorina M., Violeta T., Virgil M., Lidia A. PA 6/EPDM blends for electrical insulations. Preliminary characterization. The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 23-25 May 2013, sayfa no:1-6, Bucharest, Romania.
- Chen K., Mingyin J., Hua S., Ping X. Thermoplastic reaction injection pultrusion for continuous glass fiber-reinforced polyamide-6 composites. *Materials* 2019; 12: 463.
- Çuvalcı H., Kadir E., Hüseyin I. Investigation of the effect of glass fiber content on the mechanical properties of cast polyamide. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2014; 39: 9049-9056.
- Dryzek E., Wrobel M., Juszynska-Gałązka E. Free-volume and tensile properties of glass fibre reinforced polyamide 6 composites. *Acta Physica Polonica A* 2017; 132(5): 1501-1505.
- Essabir H., Denis R., Rachid B., Abou el KQ. Effect of nylon 6 (PA6) addition on the properties glass fiber reinforced acrylonitrile-butadiene-styrene. *Polymer Composites* 2018; 14-21.
- Hong Y., Qin Z., Min G., Cong W., Rongni D., Qiang F. Study on the phase structures and toughening mechanism in PP/EPDM/SiO₂ ternary composites. *Polymer* 2006; 47: 2106–2115.
- Ke-Qing H., Zheng-Jun L., Mu-Huo Y. Preparation and mechanical fiber reinforced PA6 novel process. *Macromolecular Materials and Engineering* 2005; 290: 688-694.
- Kusaseh NM., Nuruzzaman DM., Ismail NM., Hamedon Z., Azhari A., Iqbal AKMA. Flexure and impact properties of glass fiber reinforced nylon 6-polypropylene composites. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2018; 319: 012045.
- Li J., Zhang YF. The tensile properties of HNO₃-treated carbon fiber reinforced ABS/PA6 composites. *Surface and Interface Analysis* 2009; 41: 610–614.
- Liang J., Yuqiang X., Zhiyong W., Ping S., Guangyi C., Wanxi Z. Mechanical properties, crystallization and melting behaviors of carbon fiber-reinforced PA6 composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2014; 115: 209-218.
- Lien Z., Haoming W., Meihua L., Zheng J., Kai Z. Effect of core-shell morphology on the mechanical properties and crystallization behavior of HDPE/HDPE-g-MA/PA6 ternary blends. *Polymers* 2018; 10: 1040.

- Lozano K., Barrera V. Nanofiber–reinforced thermoplastic composites. I. Thermoanalytical and mechanical analysis. *Journal of Applied Polymer Science* 2001; 79: 125–133.
- Niyaraki MN., Faramarz AG., Ismail G., Sajjad D. Predicting of impact strength and elastic modulus of polypropylene/EPDM/graphene/glass fiber nanocomposites by response surface methodology. *Technical Journal* 2021; 15(2): 169-177.
- Nuruzzaman DM., Iqbal Asif AKM., Oumer AN., Ismail NM., Basri S. Experimental investigation on the mechanical properties of glass fiber reinforced nylon. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2016; 114: 012118.
- Ozkoc G., Bayram G., Bayramlı E. Short glass fiber reinforced ABS and ABS/PA6 composites: processing and characterization. *Polymer Composites* 2005; 26: 745-755.
- Qiu M., Xuming S., Patricia CT., Xinmin L., Zhongqin L. Mechanical properties of thermoplastic olefin composites: Effect of fillers content, strain rate and temperature. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2010; 49; 121-127.
- Ravishankar PS. Treatise on EPDM. *Rubber Chemistry and Technology* 2012; 85: 327-349.
- Shao-Yun F., Bernd L., Robert KYL., Yiu-Wing M. Effects of PA6,6/PP ratio on the mechanical properties of short glass fiber reinforced and rubber-toughened polyamide 6,6/polypropylene blends. *Composites: Part B* 2006; 37: 182-190.
- Shojaei A., Fereydoon M. Taguchi analysis of extrusion variables and composition effects on the morphology and mechanical properties of EPR-g-MA toughened polyamide 6 and its composite with short glass fiber. *Materials Science and Engineering A* 2009; 506: 45-57.
- Tanrattanakul V., Nutthorn S., Phatchareeya R. Rubber toughening of nylon 6 with epoxidized natural rubber. *Polymer Testing* 2008; 27: 794-800.
- Tarun SG., Sridhar A., Namrata V., Doddipatla P. Review on nano-and microfiller-based polyamide 6 hybrid composite: Effect on mechanical properties and morphology. *Polymer Engineering & Science* 2020; 60: 1717-1759.
- Titire LC., Andreea EM., Alina CC., George CC., George GO., Lorena D. Characterization of blend PA6+EPDM (60/40) by tensile tests. *Materiale Plastice* 2021; 58(3): 51-63.
- Zaldua N., Jon M., Amaia de la C., Sonia GA., Cristina E., Isabel H., Agnieszka T., Alejandro JM. Nucleation and crystallization of PA6 composites prepared by T-RTM: Effects of carbon and glass fiber loading. *Polymers* 2019; 11: 1680.

Yeni Bir VOOK Modülör Mimarisinin Tasarımı

Mehmet SÖNMEZ^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80010, Osmaniye

¹<http://orcid.org/0000-0002-6025-3734>

*Sorumlu yazar: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.01.2022

Kabul tarihi: 28.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Demodülör

FPGA

Modülör

VLC

VOOK

ÖZ

Görünür ışık haberleşme (VLC: Visible light communication) sistemlerinin gelişimi, optik kablosuz sistemlere olan ilginin artmasını sağlamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada karartma kontrolü sağlayan Değişken Aç-Kapa Anahtarlama (VOOK: Variable On-Off Keying) yöntemi için sayısal devre tabanlı bir mimari önerilmiştir. Özellikle literatürde ilk kez olarak, VOOK sinyalinin üretilmesi için bir adaptif verici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geleneksel sistemde kod sözcüklerinin değiştirilmesi durumunda, karartma seviyesi bilgilerinin yer aldığı sabit saklayıcıların tamamının değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bazı bloklar giriş bit sayısının değişikliği nedeniyle yeniden tasarlanmalıdır. Ancak önerilen sistemde, karartma seviyesinin değişimi için sisteme sadece karartma seviyesi bilgisi girilerek üretilen VOOK sinyalinin karartma seviyesi kontrol edilebilmektedir. Ayrıca VLC-VOOK sistemler için bir alıcı tasarımı geliştirilmiştir. Önerilen tasarımlar FPGA (Field Programmable Gate Arrays: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) derleyicisi Quartus programında oluşturulmuştur. Çalışmada VOOK yönteminin hata performans analizini gerçekleştirebilmek için bir gürültü üretici sisteme entegre edilmiş olup, bir Bit Hata Oranı (BER: Bit Error Rate) hesaplayıcısı sisteme uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları; %30, %40 ve %50 karartma seviyeli VOOK sinyaller için bir karşılaştırma içermektedir. Yapılan donanımsal tasarım, gerçek zamanlı FPGA uygulamaları için simülasyon tabanlı bir model oluşturmaktadır.

Design of a New VOOK Modulator Architecture

Research Article

Article History:

Received: 15.01.2022

Accepted: 28.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Demodulator

FPGA

Modulator

VLC

VOOK

ABSTRACT

The improving Visible light communication (VLC) systems have led to an increased interest in optical wireless systems. Therefore, in this paper a digital circuit-based architecture is proposed for the Variable On-Off Keying (VOOK) method, which provides dimming control. Especially, for the first time in the literature an adaptive transmitter design has been improved to generate the VOOK signal. It must be changed the constant registers which include the dimming level information when the codewords are modified in the traditional system. Addition to this, some blocks must be rearranged due to the changing of input bit number. However, in the proposed system the dimming level of the VOOK signal can be controlled by applying only the dimming level information to the system to change the dimming level. Moreover, it is improved a receiver design for VLC-VOOK systems. The algorithms in this paper have been designed on FPGA (Field Programmable Gate Arrays) compiler Quartus. To obtain an error performance analysis of VOOK method, it is integrated a noise generator on the system. A BER analyzer is applied on the system. The simulation results consist of performance comparison among the VOOK signals with the dimming levels of 30%, 40% and 50%. This hardware design can be considered as a simulation based model.

To Cite: Sönmez M. Yeni Bir VOOK Modülör Mimarisinin Tasarımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1230-1243.

1. Giriş

Son zamanlarda kullanıcılar arasında büyük veri paylaşımının yaygınlaşmasıyla birlikte, yetersiz kalan radyo frekans bantlarının eksikliğinin giderilmesi için optik kablosuz sistemler büyük ilgi görmektedir (Shukla ve ark., 2022). Özellikle son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olan Görünür ışık haberleşme sistemleri, optik iletişim ağları üzerinden veri paylaşımı gerçekleştirmek için 6G (Sixth Generation: 6. Nesil) haberleşme sistemleri ile entegre bir şekilde çalışmaya aday bir iletişim sistemi olarak ortaya çıkmaktadır (Guo ve ark., 2021). Bu nedenle literatürde VLC ile ilgili tanımlanan birçok problem bulunmakta olup, belirlenen problemlerin çözümüne yönelik çalışmaların mevcut olduğu görülmektedir. Özellikle VLC sistemlerde, karartma kontrolünün sağlanması (Belli ve ark. 2022; Guo ve ark., 2020), titreşim sorunları (vd Zwaag ve ark., 2019), sinyaller arası girişim etkileri (Miramirkhani ve ark, 2021), yapay ışık ve güneş ışığı engelleme modelleri (Yahia ve ark, 2021), oda içi gezgin kullanıcıyı destekleme (Zhang ve ark, 2020), dış ortam araç-araç haberleşmesi (Narmanlıoğlu ve ark, 2018) ve VLC'nin biyomedikal uygulamaları (Chaudhary ve ark, 2021) gibi güncel konular üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Görünür ışık haberleşme sistemlerinde veri iletiminin sağlanması genel olarak darbe konum modülasyonu veya genlik modülasyonu yöntemleri ile sağlanmaktadır (Lee ve Park, 2011). Konum ve genlik yöntemleri kullanılarak verinin iletimi optik haberleşme sistemleri için uzun yıllar öncesinden günümüze kadar kullanılan yöntemlerdir. Ancak kullanıcıların VLC sistemlerini kullanırken değişken ışık seviyelerine ihtiyaç duymaları konum ve genlik yöntemleri ile veri iletimini sağlayan PPM (Darbe Konum Modülasyonu: Pulse Position Modulation) ve PAM (Pulse Amplitude Modulation: Darbe Genlik Modülasyonu) yöntemlerinin modifikasyona uğramasına neden olmuştur. Öncelikli olarak ikili ilettime izin veren 2-PPM ve OOK yöntemlerine PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu: Pulse Width Modulation) tekniğinin uygulanmasıyla VPPM (Değişken PPM: Variable PPM) ve VOOK (Değişken OOK: Variable OOK) iletim şemaları önerilmiştir (Raj ve ark, 2021). Önerilen şemalar karartma seviyesini değiştirmek için sinyalin görev periyodunu değiştirmektedir. İlerleyen yıllarda daha yüksek veri iletiminin sağlanması amacıyla sarmal bir yapıya sahip olan M-VPPM yöntemi literatürde önerilmiştir. M-VPPM yöntemi hedef karartma seviyesini yakalayabilmek için iletilecek olan bilgi bitlerinin değerine göre sarmal bir yapı oluşturabilmektedir (Yoo ve ark, 2015).

Modülasyon yöntemlerinin kullanımı ile uygulamalarda birçok problem ortaya çıkmaktadır. En önemli problemlerden biri LED (Işık Yayan Diyot: Light Emitting Diode)'in lineer olmayan çalışma durumunda alıcının Bit Hata Oranı (BER: Bit Error Rate) performansını önemli ölçüde düşürmesidir (Chen ve ark, 2019). Özellikle yüksek hızlı VLC sistemlerde LED'in non-lineer çalışma durumunun oluşturduğu etkiyi düşürmek için geleneksel olarak dengeleyiciler kullanılmaktadır (Ge ve ark, 2020). Yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı çalışmalarda yapay ışık etkisi düşürülebilmesi için dengeleyici tasarımı gerçekleştirildiği görülmektedir (Jain ve ark, 2020). Özellikle geleneksel sistemlerin karmaşık yapısını düşürmek ve optimum bir dengeleyici sistemin tasarımı için akıllı yöntemler tercih edilmektedir (Chen ve ark, 2021).

VLC sistemleri teorik olarak birçok açıdan incelenmesinin yanı sıra, literatürde uygulanabilir pratik sistemlerin de tasarımının gerçekleştirildiği görülmektedir. Temel uygulanabilir sistemler olarak OOK ve PPM yöntemlerinin pratik tasarımı birçok çalışmada göz önüne alınmıştır. Özellikle OOK yöntemleri için ortam ışığının engellenmesi ve gezgin kullanıcılar için adaptif eşik değer yöntemlerinin geliştirilmesi incelenen önemli konular arasında olmuştur (Pham ve ark, 2017; Li ve ark, 2017). Ayrıca FPGA tabanlı bir VPPM yönteminin geliştirilmesi, adaptif olarak uygulanabilir kararlı kontrollü VLC sistemlerin tasarımının büyük ölçüde önemli olduğunu göstermektedir (Jeong ve ark, 2014). Temel sistemlerin yanında çok seviyeli veri iletimi gerçekleştiren modülasyon yöntemleri için de uygulanabilir sistemler geliştirilmiştir. Özellikle SVM (Support Vector Machine: Destek Vektör Makinesi) gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak seviye tahmini yapan OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) tabanlı bir SPAM (Superposed Pulse Amplitude Modulation) alıcı mimarisinin tasarımı, makine öğrenmesi yöntemlerinin VLC sistemlerde seviye tahmininde kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Yuan ve ark, 2017).

Yapılan çalışmalara ek olarak FPGA, VLC sistemlerde birçok alanda kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde güvenli bir haberleşme sisteminin tasarımında Xilinx AX545 FPGA kartı üzerinde, NOMA (Non-orthogonal Multiple Access: Dikgen-Olmayan Çoklu Erişim) VLC sistemi için PAPR'ın (peak-to-average power ratio: tepe/ortalama güç oranı) düşürülmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan çoklu erişim sistemine, 128 noktalı FFT (Fast Fourier Transform: Hızlı Fourier Dönüşümü) ve 4-QAM (Quadrature Amplitude Modulation: Dördün Genlik Modülasyonu) algoritmaları entegre edilmiştir (Wu ve ark, 2021). Farklı bir OFDM uygulamasında literatürde ilk kez ASK-CE-OFDM (Amplitude Shift Keying-Constant Envelope-Orthogonal Frequency Division Multiplexing: Genlik Kaydırmalı Anahtarlamalı Sabit Genlikli Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) yönteminin gerçek zamanlı bir uygulaması Xilinx Kintex-7 KC705 FPGA kartı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre 3.5m mesafede, 2-ASK sinyalin ve CE-OFDM sinyalin BER performanslarının gerçek zamanlı sistemler için başarılı olduğu görülmektedir (Lu ve ark, 2019). Bu çalışmalar ile birlikte 2020 yılında VC707 Xilinx FPGA kartı üzerinde bir OFDM-NOMA sistemi tasarlanarak ev içi veri iletişimi için deneysel bir heterojen ağ yapısı kurulmuştur (Shi ve ark, 2020). 2018 yılında yapılan bir çalışmada, yüksek veri hızlarında LED ve foto-alıcı kaynaklı olan sinyal bozulmalarını önlemek için FPGA tabanlı alıcı-verici sisteme bir ön-bozulma önleyici bir dalga şekillendirici entegre edilmiştir. OOK yöntemi üzerinde başarımlı izlenen dalga şekillendiricili sistem 262 Mb/s hızında veri iletimini 5m veri iletim mesafesinde 1.0×10^{-6} BER performansında gerçekleştirmiştir (Xu ve ark, 2018).

Literatürde FPGA kartı üzerinde birçok VLC deneysel uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kararlı kontrollü yöntemlerden birisi olan ve çok yaygın kullanılan VPPM yöntemi için de verimli çalışan bir FPGA tabanlı VPPM şeması önerilmiştir (Jeong ve ark, 2014). Ancak adaptif bir FPGA-VOOK sisteminin tasarımı literatürde şu an için bir boşluk olarak görülmektedir. Bu nedenle yapılan

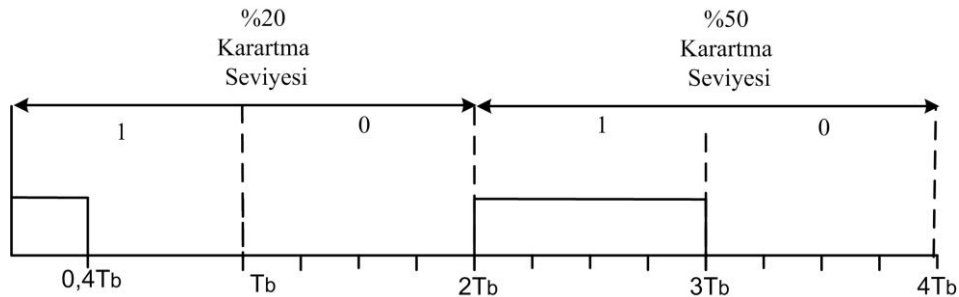
çalışmada karartma seviyesi bilgisi girilerek doğrudan VOOK sinyali üreten bir adaptif verici modeli önerilmiştir. Önerilen modelin doğruluğu FPGA derleyicisi Quartus programında test edilmiştir. Ayrıca adaptif modülatör çıkışından alınan sinyalin demodülasyonu için de bir alıcı sistem tasarlanmıştır. Test sonuçlarına göre önerilen verici sistem başarılı bir şekilde VOOK sinyalini üretmekte olup demodülatör mimarisi alınan sinyalden bilgi bitlerini yeniden tahmin edebilmektedir. Yapılan çalışmada farklı karartma seviyeli sinyallerin BER analizini gerçekleştirebilmek için fotodiyot kaynaklı gürültüyü temsil etmek için bir gürültü üretici ve BER hesaplayıcısı sisteme entegre edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında %30, %40 ve %50 karartma seviyeli VOOK sinyalleri için performans analizi gerçekleştirilmiştir.

2. VOOK Yöntemi

VOOK yöntemi OOK yöntemine PWM yönteminin uygulanması ile elde edilmiş bir iletim yöntemidir. OOK yönteminde olduğu gibi VOOK yöntemi de ikilik düzeyde veri iletimine imkan sağlamaktadır. Tablo-1’de, üretilecek olan VOOK sinyalinin farklı karartma seviyelerinde olması gereken slot değerleri verilmiştir. Tabloda ' d ' değeri veri bitinin durumuna göre değişmektedir. Eğer gönderilecek olan bit '1' ise d değeri de '1' olacaktır. Diğer durumda d değeri, '0' olmaktadır. Şekil-1’de is farklı karartma seviyelerinde bulunan VOOK sinyallerine örnek olarak zamana göre bir sinyal değişimi verilmiştir. Tabloda %20 karartma seviyesini sağlayabilmek için toplam 20 adet slot değerinden 8 tanesi d değerini alırken 12 slot değeri '0' değerindedir.

Tablo 1. Karartma Seviyesi (δ)’ne göre VOOK Kod dizisi (Lee ve Park, 2011).

δ	Kod dizisi (VOOK)
0	00000000000000000000
0.1	dddd0000000000000000
0.2	ddddddd0000000000000
0.3	dddddddddd0000000000
0.4	dddddddddddddd0000
0.5	dddddddddddddddd
0.6	ddddddddddddddd1111
0.7	ddddddddddd11111111
0.8	ddddddd111111111111
0.9	ddd1111111111111111
1	11111111111111111111



Şekil 1. %20 ve %50 karartma seviyesine örnek bir VOOK sinyal

Bilgi biti '1' olursa Şekil-1'den de görüldüğü gibi toplam bit sayısının 8/20 (0.4) katı kadar slot '1' değerinde olmalıdır. Dolayısıyla bir bit periyodu T_b ile gösterilirse, 0.4 T_b süresince sinyal, '1' seviyesinde tutulmakta olup geri kalan 0.6 T_b süresince, '0' seviyesindedir. %50 karartma seviyesi için ise şekilden de görüldüğü gibi geleneksel OOK yöntemi olarak veri iletiminin gerçekleştiği görülmektedir. VLC sistemlerinde kapalı ortamda ışığın yayılımını incelemek için Lambertian dağılım modeli referans alınmaktadır. Lambertian dağılımına göre kanalın DC kazancı Eşitlik 1'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A_r}{2\pi D_k^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \Psi_c \\ 0 & , \psi > \Psi_c \end{cases} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de; m , A_r , D_k ve Ψ_c sırasıyla Lambertian derecesi, foto algılayıcının fiziksel alanı, alıcı-verici arasındaki mesafe ve görüş alanı genişliği olarak ifade edilmektedir. T_s ve g sırasıyla optik filtre ve yoğunlaştırıcı kazançları olarak tanımlanmaktadır (Komine ve Nakagawa, 2004; Wang ve ark, 2018). Eğer iletilen güç P_t ile ifade edilirse alınan güç Denklem (2)'de verildiği gibi gösterilebilir (Wang ve ark, 2012).

$$P_r = H(0)P_t \quad (2)$$

Denklemden P_r alınan gücü göstermektedir. Sinyal optik algılayıcı tarafından algılandıktan sonra fotodiyot tarafından bir sinyal oluşturulacaktır. Fotodiyot tarafından alınan sinyal $s(t)$ ile gösterilirse, sinyal gücü Denklem (1) ve (2)'ye bağlı olarak değişmektedir. Eğer fotodiyot kaynaklı gürültü $n(t)$ ile ifade edilirse fotodiyot çıkışında oluşacak sinyalin ifadesi Denklem (3)'te verildiği gibidir.

$$y(t) = s(t) + n(t) \quad (3)$$

Verilen ifadede $y(t)$, fotodiyot tarafından alınan VOOK sinyal olarak ifade edilebilir. Demodülasyon aşaması için Tablo 1'de verilen kod dizilerinden d ile ifade edilen slotların durumu dikkate alınarak bilgi bitleri tahmin edilebilmektedir. Ancak tablo incelendiğinde δ ve $(1-\delta)$ karartma seviyeleri için aynı sınırları içeren bir demodülatörün kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu nedenle genel bir form, δ ve $(1-\delta)$ değerlerinin birlikte dikkate alınmasıyla oluşturulmaktadır. Denklem-4 VOOK sinyalleri için alınan sinyalin integralini veren ifadeleri içermektedir.

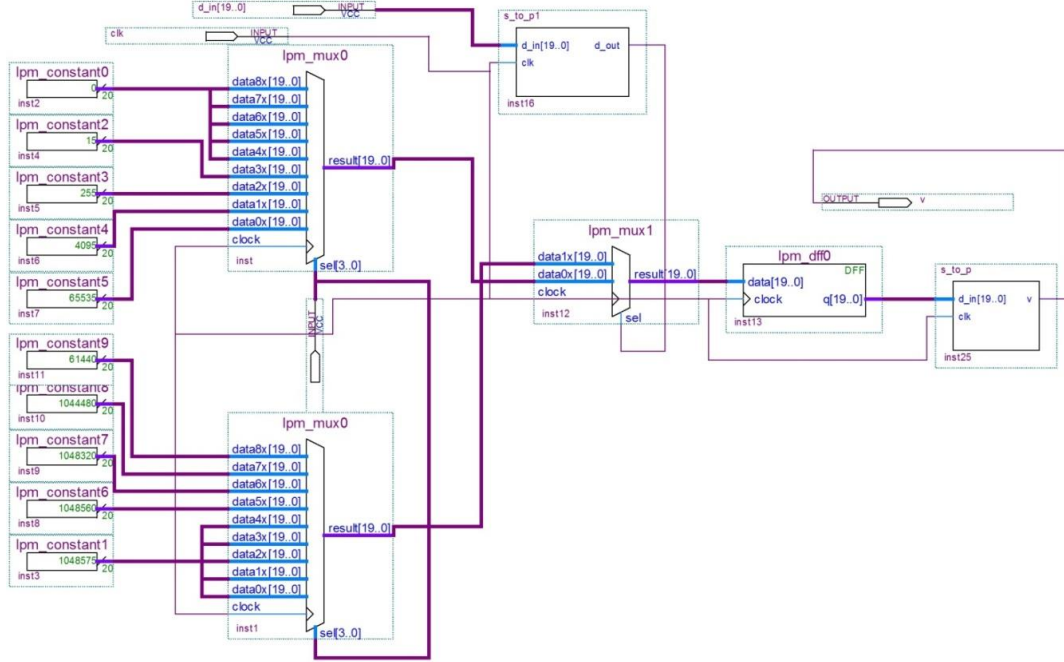
$$I(t) = \int_0^{2\delta T_b} y(t) dt \quad \text{Eğer } \delta \leq 0.5$$

$$I(t) = \int_0^{2(1-\delta)T_b} y(t) dt \quad \text{Eğer } 0.5 < \delta \quad (4)$$

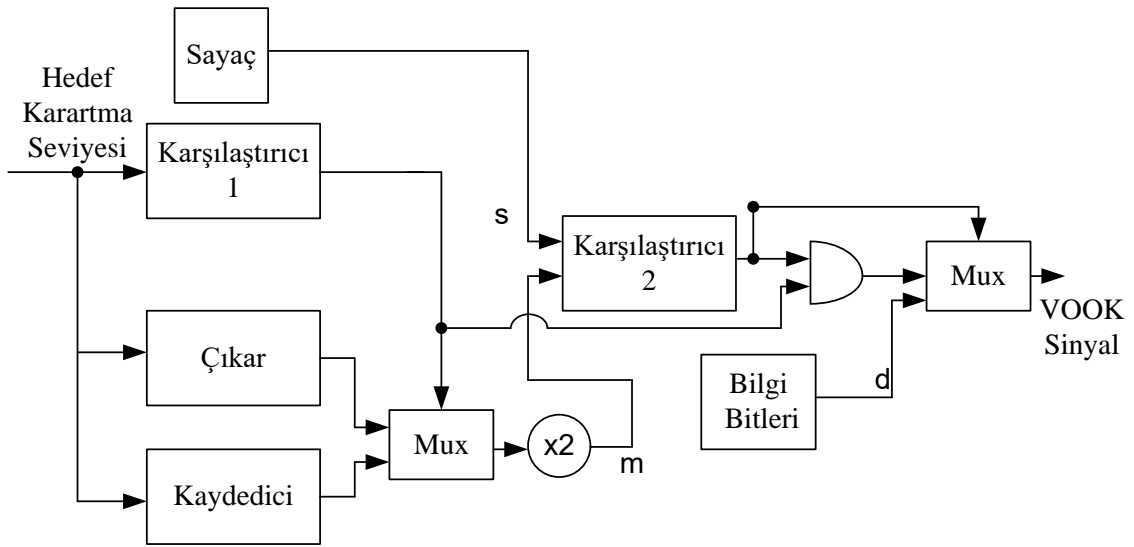
Bir eşik değeri kullanılarak alıcı tarafta bilgi bitlerinin durumu algılanabilmektedir. Eşik değeri temelli çalışan bu modülasyon yöntemleri için en büyük dezavantaj, bir eşik değeri tahmin eden sisteme veya adaptif bir alıcı şemaya ihtiyaç olmasıdır. Genellikle literatürde akıllı yöntemler kullanılarak eşik değeri tahmini veya seviye tahmini gerçekleştirilebilmektedir.

3. VOOK Sinyali Üretim Yöntemleri

Bu bölümde VOOK sinyalinin üretimi için kullanılan mimariler verilmektedir. Şekil-2’de geleneksel bir yöntem verilmiştir.



Şekil 2. Geleneksel VOOK mimarisi (Jeong ve ark, 2014)



Şekil 3. Önerilen VOOK Modülör Şeması

Geleneksel VOOK yönteminde Tablo-1’de verilen karartma seviyeleri bir kaydedici yardımıyla tutulur ve mux bloğu girişlerine aktarılmaktadır. Her mux bloğu karartma seviyesi bilgisi kullanılarak sel[3..0] girişlerinden kontrol edilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi mux girişlerinin her birisi 20 bitlik olmak üzere toplamda 10 adettir. İki girişli olan mux bloğu ise d_out bilgi bitlerinin sel (seçici pin) girişine uygulanmasıyla '0' veya '1' bilgi bitlerinin durumuna göre data0 veya data1 girişlerinden birisini seçecektir. İki girişli mux çıkışı bir kaydediciye uygulanarak iletilecek veri bitleri ve *constant* saklayıcılarında kaydedilmiş değerlerin senkronize bir şekilde çalışması sağlanmıştır. s_to_p bloğu ise paralelden-seriye dönüşüm işlemini gerçekleştirmektedir.

Şekil-3’te ise önerilen VOOK mimarisi verilmektedir. Önerilen mimari adaptif bir mimari olup doğrudan karartma seviyesinin kullanıcı tarafından girilmesi yeterli olmaktadır. Bu nedenle geleneksel mimarilere göre daha düşük karmaşık yapıya sahip olmaktadır.

Önerilen VOOK mimarisi için teorik bir alt yapı Denklem-5 ve Denklem-9 sırasında verilmektedir. Denklem-5’te m değeri için bir ifade görülmektedir.

$$\begin{aligned} m &= 2\delta & \text{Eğer } \delta \leq 0.5 \\ m &= 2(T - \delta) & \text{Eğer } 0.5 < \delta \end{aligned} \quad (5)$$

Denklem 5’te görüldüğü gibi karartma seviyesinin iki farklı durumu için iki farklı m değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan m değeri ve karşılaştırıcı-1 çıkışına göre VOOK sinyalinin doluluk oranı belirlenebilmektedir. Karartma seviyesi δ değerinin 0.5 ve altında olma durumu öncelikli olarak incelenirse,

Durum-1 $\delta \leq 0.5$

$$vook = '0' \quad \begin{cases} \text{Eğer } d = 0 \\ \text{Eğer } d = 1 \text{ ve } m \leq s \end{cases} \quad (6)$$

$$vook = '1' \quad \text{Eğer } d = 1 \text{ ve } m > s \quad (7)$$

Durum-1’de verilen ifadeler incelendiğinde karartma seviyesinin %50 ve altındaki seviyeler için bir karar oluşturulduğu görülmektedir. Bir diğer durum ise VOOK sinyalinin üretiminin %50 karartma seviyesinin üzerinde olması durumudur.

Durum-2 $0.5 < \delta$

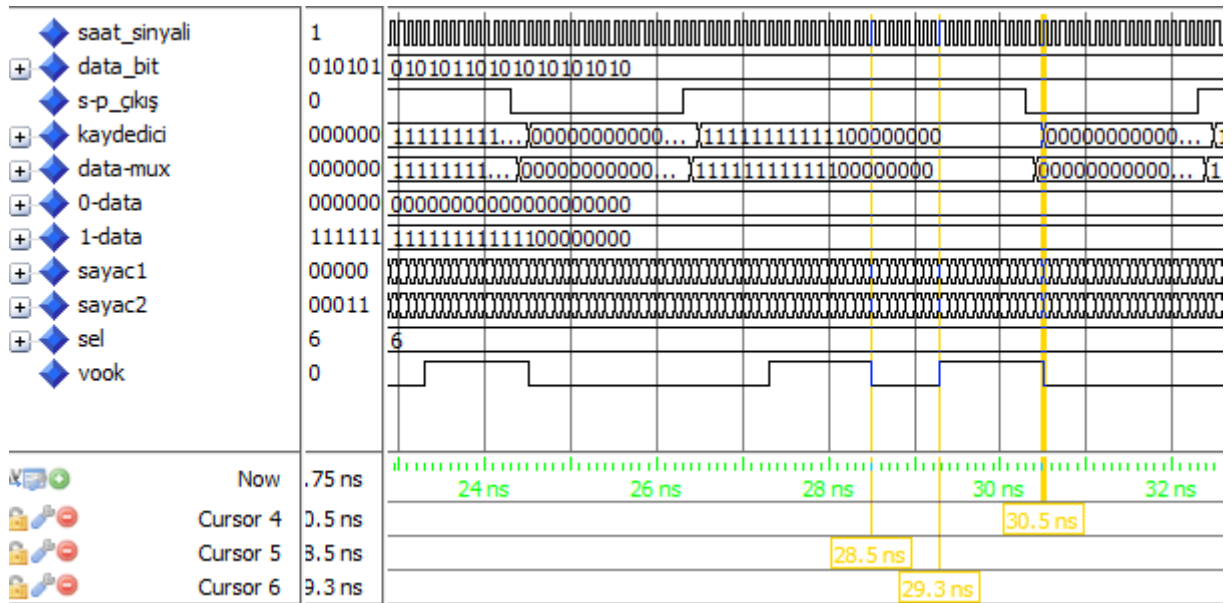
$$vook = '1' \quad \begin{cases} \text{Eğer } d = 1 \\ \text{Eğer } d = 0 \text{ ve } m \leq s \end{cases} \quad (8)$$

$$vook = '0' \quad \text{Eğer } d = 0 \text{ ve } m > s \quad (9)$$

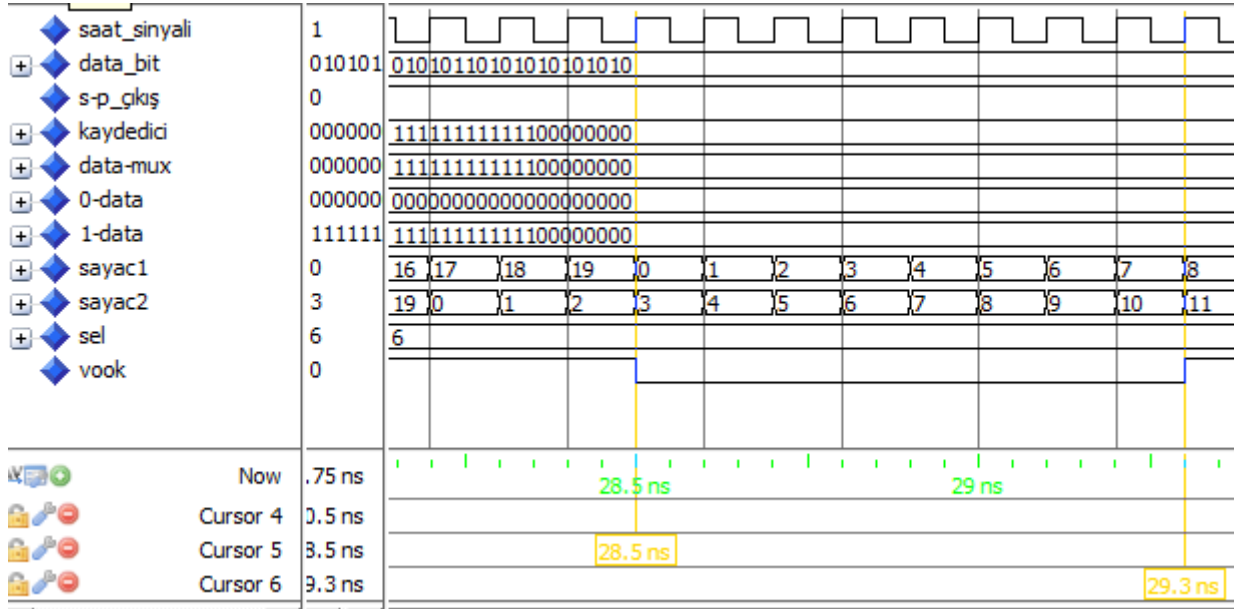
Durum-2’de ise karartma seviyesinin %50’nin altında olma durumu incelenmiştir. Şekil-2’de önerilen mimari için elde edilen ifadeler kullanılarak algoritmanın çalışması verilebilmektedir. Hedef karartma seviyesinin uygulandığı karşılaştırıcı, karartma seviyesi oranının %50 seviyesinin üzerinde veya %50 seviyesi ve altında olup olmadığını kontrol etmek için kullanılmıştır. Toplam slot sayısına göre hedef karartma seviyesi olarak girilen değeri '0' ve '1' iletimi için kullanılacak sinyallerin üretimi için kullanılmaktadır. Bir sayaç kullanılarak hedef karartma seviyesini elde edene kadar karşılaştırıcı çıkışının kontrolü sağlanmaktadır. Karşılaştırıcıların *and* anahtarı üzerinden işleme alındığı görülmektedir. Bunun nedeni karartma seviyesinin 0.5 üzerinde olması durumunda '0' bilgi bitinin bazı slotları da dolu olarak üretilmesi gerekliliğidir. 0.5 karartma seviyesi ve altında ise karşılaştırıcı-1, '0' seviyesinde olduğundan sayaç mux çıkışındaki değerin iki katından daha büyük olsa dahi karşılaştırıcı-2’nin çıkışı mantıksal '0' seviyesinde tutulacaktır. 0.5 karartma seviyesi altında ise Karşılaştırıcı-2, '1' bilgi sinyalinin iletilme durumunda bazı slotların boş olarak üretilmesini sağlamaktadır. Son aşamada kullanılan mux bloğu çıkışından VOOK sinyali başarılı bir şekilde üretilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

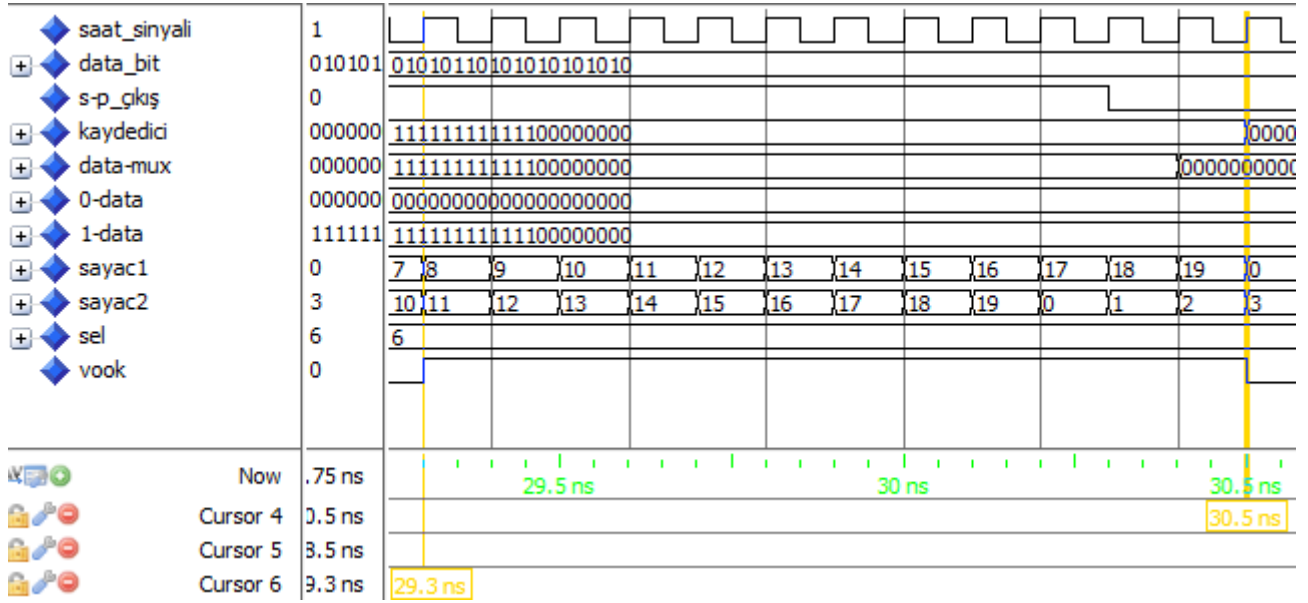
Bu bölümde hem önerilen adaptif yöntem hem de geleneksel yöntem için Quartus programında elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir. Elde edilen Simülasyon sonuçlarında kullanılan etiketler geleneksel ve önerilen sistemlerde sunulan blokların çıkışlarına göre etiketlenmiştir. Şekil-4’te geleneksel sistem için elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir.



(a)



(b)

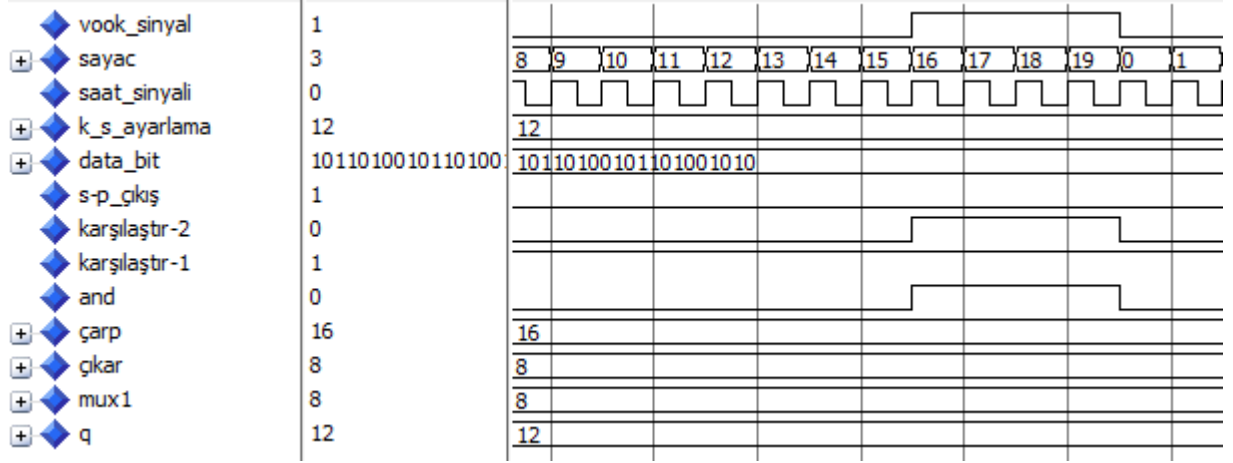


(c)

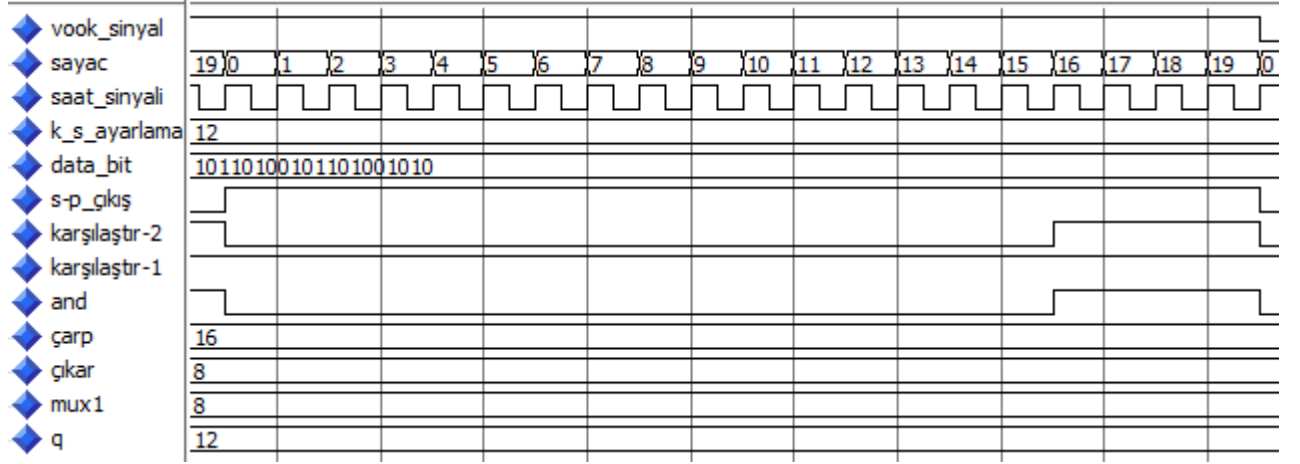
Şekil 4. Geleneksel VOOK sistem için elde edilen sonuçlar. (a) Alınan sonuçların zaman düzleminde geniş ölçek gösterimi (b) Sıfır sinyali için ayrıntılı gösterim (c) Bir sinyali için ayrıntılı gösterim

Şekil-4'te sel, hedef karartma seviyesi kontrol girişi 6 olarak girilmiştir. Tablo-1'e göre $\delta=0.9$ için mux bloğunun sıfır numaralı girişi kullanılıyorsa $\delta=0.3$ için de 6 numaralı giriş kullanılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda toplam 20 slot değerinden 8 tanesi sıfır 12 tanesi de iletilecek olan bilgi bitinin değerini almaktadır. Verilen örnekte 0.1 ns periyodunda saat sinyali (saat_sinyal) kullanılmıştır. Ayrıca 28.5 ns-29.3 ns aralığı da toplamda 0.8 ns olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle 1 bilgi biti iletileceği zaman 8 adet slot değerinin sıfır olduğu Şekil 4-b'den görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.c'den, '1' bilgi biti için toplam '1' seviyesindeki slot sayısı 12 olup 29.3 ns-30.5 ns aralığında 1.2 ns'lik bir süre olarak hesaplanmaktadır. Şekil 4'te data_bit ve s-p_cikis ise gelen bilgi paketi ve paralelden seriye dönüştürücü olarak ifade edilmektedir. 0-data ve 1-data değerleri hedef karartma seviyesinin

kontrol edildiği mux bloklarının çıkışından alınan değerlerdir. Ayrıca *data_mux* ve kaydedici çıkışları ise bilgi sinyalinin uygulandığı mux bloğu çıkışı ve kaydedici çıkışları olarak ifade edilmektedir. Şekil 5'te önerilen sistem için elde edilen sonuçlar görülmektedir.



(a)

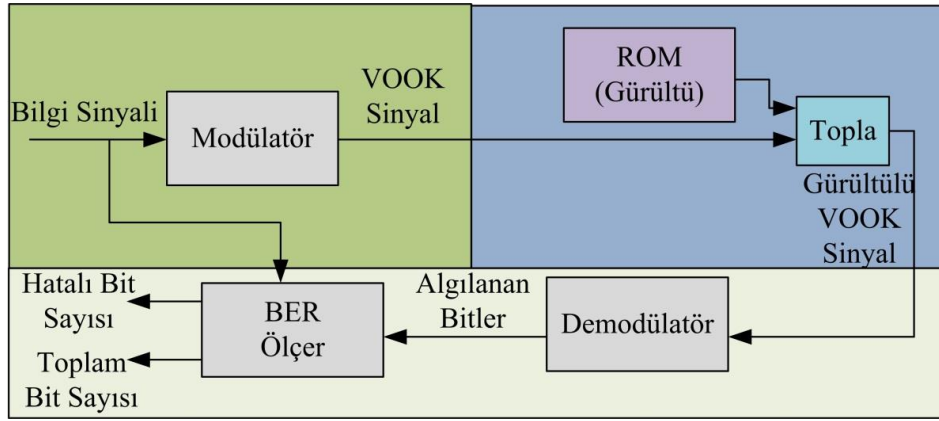


(b)

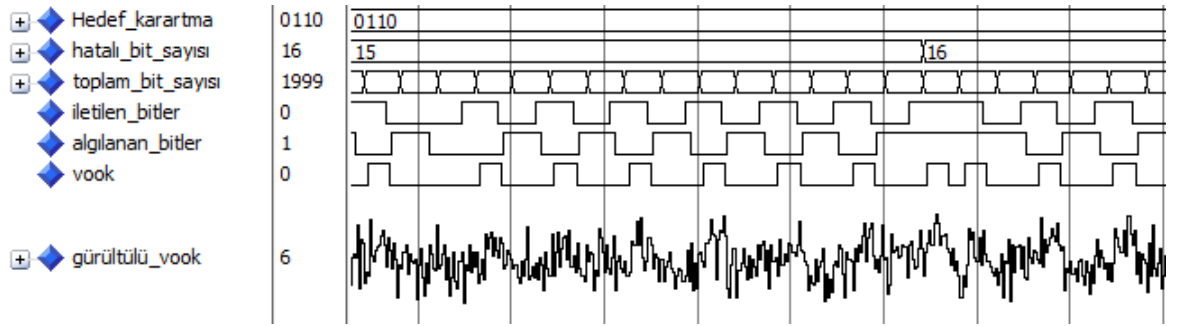
Şekil 5. Önerilen VOOK Modülatör Şeması için Simülasyon Sonuçları. (a) '0' Bilgi biti için alınan sonuçlar. (b) '1' Bilgi biti için alınan sonuçlar

Şekil 5'te *k_s_ayarlama*, hedef karartma seviyesini göstermektedir. Verilen simülasyonda 12 olarak seçilmiş olup, Tablo-1'de verilen değerlere göre $\delta=0.6$ olarak elde edilmektedir. Simülasyon sonucunda *data_bit*, *s-p_çıkış* ve *saat_sinyali* sinyalleri gelen bilgi paketi, paralelden seriye dönüştürücü çıkışı ve saat sinyali olarak ifade edilmektedir. Simülasyon ortamı ile pratik ortam arasında yapılacak bir karşılaştırmaya göre, simülasyonun aksine pratik ortamda kullanılacak saat sinyali frekansının tasarlanan sistem tarafından desteklenebiliyor olması gerekmektedir.

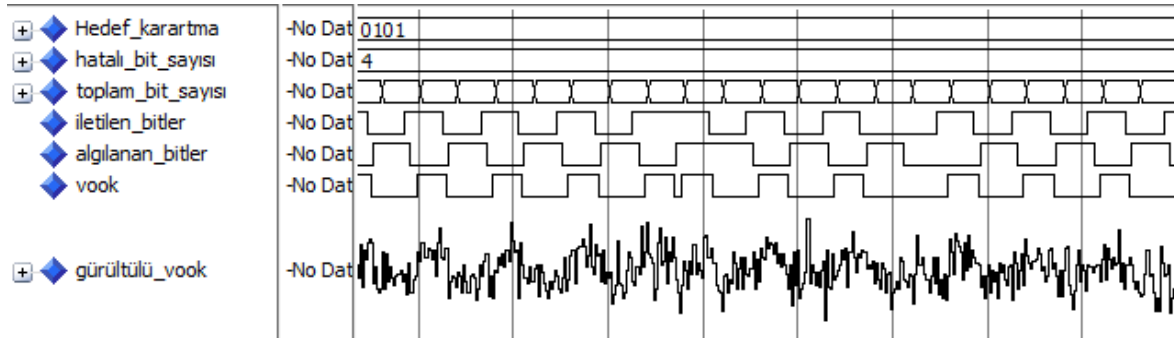
VOOK yönteminin karartma seviyeleri arasındaki BER performansını donanımsal-simülasyon destekli olarak analiz edebilmek için bir gürültü ekleme mimarisi oluşturulmuştur. Oluşturulan mimariye göre gürültü sinyali bir ROM içerisinde kaydedilerek, iletilen VOOK sinyaline eklenmiştir. Bu aşamada fotodiyot ve LED kaynaklı simgeler arası girişime neden olan sinyal bozulmaları ihmal edilmiştir. Demodülatör tarafında optimum eşik değeri kullanılarak bilgi bitlerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır.



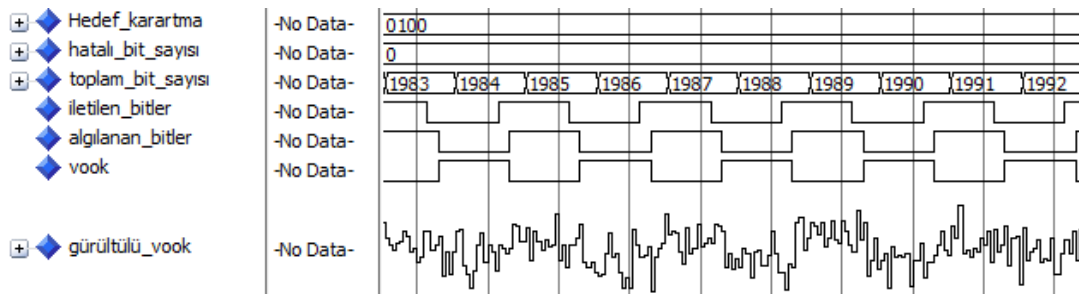
Şekil 6. Farklı karartma seviyeli VOOK sinyallerinin BER performansını analizi için tasarlanan devre şeması



(a)



(b)



(c)

Şekil 7. Farklı karartma seviyeli VOOK sinyallerin BER performansı. (a) Karartma seviyesi $\delta=0.3$. (b) Karartma seviyesi $\delta=0.4$. (c) Karartma seviyesi $\delta=0.5$.

Şekil 6’da görüldüğü gibi gürültü kaynağı olarak bir ROM kullanılmış olup, gelen VOOK sinyal ile gürültü toplanarak demodülatör girişine uygulanmıştır. Şekilde verilen gürültü fotodiyot kaynaklı oluşan gürültü olarak dikkate alınmaktadır. Şekil-6’da verilen sistem için alınan simülasyon sonuçları Şekil-7’de verildiği gibidir. Verilen simülasyon sonuçlarına göre toplam iletilen bit sayısı yaklaşık olarak 2000 adettir. Bu BER analizi yapabilmek için yetersiz bir bit sayısıdır. Bu aşamada sadece BER performansı ölçülebilen bir sistemin simülasyon sonuçları verilmiştir. Şekilde farklı hedef karartma seviyeleri için ölçülen hatalı bit sayısının farklı olduğu görülmektedir. Özellikle %50 karartma seviyeli sinyal için alınan 2000 bitin tamamı doğru olarak algılanmıştır. %30 karartma seviyeli VOOK sinyal için 16 bit ve %40 karartma seviyeli VOOK sinyal için de 4 bit hatalı olarak algılanmıştır. Hatalı algılanan bitlerin sayısı karşılaştırıldığında, tasarlanan BER ölçer sistemin doğru bir şekilde sistem performansını analiz edebildiği de görülmektedir

5. Sonuç

Yapılan çalışmada literatürde ilk kez bir VOOK iletim yöntemi için FPGA tabanlı bir sayısal algoritma önerilmiştir. Önerilen yöntem geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında, kod sözcüklerinin değiştirilmesi durumunda geleneksel VOOK mimaride verilen giriş mux bloklarının girişindeki sabit değerler ile mux bloğunun giriş sayısı değişikliğine gerek olmadan karartma seviyesinin değiştirilebilmesine izin veren bir adaptif şema içermektedir. Önerilen adaptif şemanın teorik analizi gerçekleştirilmiş olup, bilgi bitlerinin algılanabilmesi için bir demodülatör tasarımı verici mimariye entegre edilmiştir. Donanımsal olarak farklı karartma seviyeli sinyallerin BER analizi karşılaştırması yapılabilmesi için bir BER hesaplayıcı ve gürültü üretici sisteme uygulanmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda adaptif eşik değeri tahmin yöntemlerinin farklı karartma seviyeli OOK sinyaller için uygulanarak, mobil kullanıcılar için veri iletiminin sağlanması gerçekleştirilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Belli R., Runge C., Portugheis J., Finamore W. A capacity-approaching coding scheme for M-PAM VLC systems with dimming control. *Optics Communications* 2022; 127891.
- Chaudhary S., Tang X., Wei X. Experimental demonstration of 62.5 Mbps VLC link for healthcare infrastructures by incorporating limiting amplifier as an amplification scheme. *Microelectronics Journal* 2021; 108: 104971.
- Chen C., Deng X., Yang Y., Du P., Yang H., Zhao L. LED nonlinearity estimation and compensation in VLC systems using probabilistic Bayesian learning. *Applied Sciences* 2019; 9(13): 2711.

- Chen H., Niu W., Zhao Y., Zhang J., Chi N., Li Z. Adaptive deep-learning equalizer based on constellation partitioning scheme with reduced computational complexity in UVLC system. *Optics Express* 2021; 29(14): 21773-21782.
- Ge P., Wang J., Ling X., Liang X., Tian Y., Zhao C. Achievable rate analysis for post-and pre-equalization in DCO-OFDM VLC with limited dynamic range. *Optics Communications* 2020; 476: 126277.
- Guo H., Zhou X., Liu J., Zhang Y. Vehicular intelligence in 6G: Networking, communications, and computing. *Vehicular Communications* 2021; 33: 100399.
- Guo JN., Zhang J., Zhang YY., Li L., Zuo Y., Chen, RH. Multilevel transmission scheme based on parity check codes for VLC with dimming control. *Optics Communications* 2020; 467: 125733.
- Jain S., Mitra R., Bhatia V. On BER analysis of nonlinear VLC systems under ambient light and imperfect/outdated CSI. *OSA Continuum* 2020; 3(11): 3125-3140.
- Jeong JD., Lim SK., Jang IS., Kim MS., Kang TG., Chong JW. Novel architecture for efficient implementation of dimmable VPPM in VLC lightings. *ETRI Journal* 2014; 36(6): 905-912.
- Komine T., Nakagawa M. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. *IEEE transactions on Consumer Electronics* 2004; 50(1): 100-107.
- Lee K., Park H. Modulations for visible light communications with dimming control. *IEEE Photonics Technology Letters* 2011; 23(16): 1136-1138.
- Li S., Pandharipande A., Willems FM. Adaptive visible light communication LED receiver. 2017 IEEE sensors, 29 Ekim-1 Kasım 2017, 1-3, Glasgow, İskoçya.
- Lu M., Xiao S., Zhang L., Zheng L., Fang J., Huang T., Hu W. Real-time VLC system integrated with positioning beacon transmission based on 2ASK-CE-OFDM coding. *Optics Communications* 2019; 452: 252-257.
- Miramirkhani F., Karbalayghareh M., Mitra R. Least minimum symbol error rate based post-distortion for adaptive mobile VLC transmission with receiver selection. *Physical Communication* 2021; 47: 101353.
- Narmanlioglu O., Turan B., Ergen SC., Uysal M. Cooperative MIMO-OFDM based inter-vehicular visible light communication using brake lights, *Computer Communications* 2018; 120: 138-146.
- Pham QN., Rachim VP., An J., Chung WY. Ambient light rejection using a novel average voltage tracking in visible light communication system. *Applied Sciences* 2017; 7(7): 1-9.
- Raj R., Jaiswal S., Dixit A. Dimming-based modulation schemes for visible light communication: spectral analysis and ISI mitigation. *IEEE Open Journal of the Communications Society* 2021; 2: 1777-1798.
- Shi J., Hong Y., Deng R., He J., Chen LK. Real-time software-reconfigurable hybrid in-house access with OFDM-NOMA. *IEEE Photonics Technology Letters* 2020; 32(7): 379-382.

- Shukla NK, Mayet AM., Vats A., Aggarwal M., Raja RK., Verma R., Muqet MA. High speed integrated RF-VLC data communication system: Performance constraints and capacity considerations *Physical Communication* 2022; 50: 101492.
- vd Zwaag KM., Neves JL., Rocha HR., Segatto ME., Silva JA. Adaptation to the LEDs flicker requirement in visible light communication systems through CE-OFDM signals. *Optics Communications* 2019; 441: 14-20.
- Wang JY., Liu C., Wang JB., Wu Y., Lin M., Cheng J. Physical-layer security for indoor visible light communications: Secrecy capacity analysis, *IEEE Transactions on Communications* 2018; 66(12): 6423-6436.
- Wang Z., Zhong WD., Yu C., Chen J., Francois CPS., Chen W. Performance of dimming control scheme in visible light communication system. *Optics Express* 2012; 20(17): 18861-18868.
- Wu Y., Hu Y., Wan Z., Wang T., Sun Y., Qianwu Z. Joint security enhancement and PAPR mitigation for OFDM-NOMA VLC systems. *Optics Communications* 2021; 127719.
- Xu W., Zhang M., Han D., Ghassemlooy Z., Luo P., Zhang Y. Real-time 262-Mb/s visible light communication with digital predistortion waveform shaping. *IEEE Photonics Journal* 2018; 10(3): 1-10.
- Yahia S., Meraihi Y., Ramdane-Cherif A., Gabis AB., Acheli D., Guan HA. Survey of channel modeling techniques for visible light communications. *Journal of Network and Computer Applications* 2021; 194: 103206.
- Yoo JH., Kim BW., Jung SY. Modelling and analysis of M-ary variable pulse position modulation for visible light communications. *IET Optoelectronics* 2015; 9(5): 184-190.
- Yuan Y., Zhang M., Luo P., Ghassemlooy Z., Lang L., Wang D., Han D. SVM-based detection in visible light communications. *Optik* 2017; 151: 55-64.
- Zhang Y., Zhu Y., Zhang Y., Wang C. Real-time optimal tracking angles of photodiodes for MC-VLC in indoor mobile scenarios. *Optics Communications* 2020; 469: 125744.

Fotovoltaik Sistemlerde İzleme Algoritması İçin Yeni Bir Uygulama Yaklaşımı

Mustafa HASAN^{1*}, Serra ALTINOLUK^{1,2}

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi/Electrical & Electronics Engineering, Muğla, Turkey

²The Center for Solar Energy Research and Applications (GÜNAM), Ankara, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-2325-4815>

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

*Sorumlu yazar: eng.mustafa.lateef@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.02.2022

Kabul tarihi:23.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

PV sistem

Buck dönüştürücü

PI kontrolör

PIC18F4580

MSX-60

Eşleştirme

Bu makalede, mikrodenetleyicilerle ilgilenen devre simülasyonlarının çoğunda güneş pili modüllerinin eksikliğinin üstesinden gelmek için yeni bir modelleme tekniği anlatılmaktadır. Önerilen yeni uygulama, en popüler platformlardan biri olan Proteus ve MikroC yazılımına dayanmaktadır. Gerçeğe yakın emülasyon yapmak için, sıcaklık ve insidans ışınımı değiştirme olasılığı dahilinde MSX-60 panelini matematiksel denklemlere dayalı olarak simülasyonu amaçlanmaktadır. Sunulan çalışma, IV ve PV karakteristiğini veri sayfası tarafından sağlanan çıktılar ile karşılaştırarak önerilen sistemin geçerliliğini test etmenin yanı sıra, bir değişken girişten oluşan sistem üzerinde, PIC18F4580 mikro denetleyici tarafından izleme voltajı algoritması uygulamak için yeni bir teknik önermektedir. Kaynak PV sistemi, bir ara madde olarak bir güç elektroniği cihazının önceden varlığı ile bir yükü beslemektedir. Buck dönüştürücü, istenen çıkış voltajını takip etmekle aynı anda düzensizlik durumunda en iyi performansla erişmek için bu kısmı kullanmaktadır. Ayrıntılı ayırık PI algoritması uygulama süreci ve burada sunulan diğer ilişkili aksesuarlarla eşleme tekniği, başka yerlerde nadiren kullanılmaktadır. Simülasyon sonuçları, hem ışınım hem de sıcaklık arasındaki ilişkiyi voltajla doğrularak önerilen modellemenin geçerliliğini kanıtlamıştır. Buck dönüştürücünün kapalı çevrim kontrol sisteminde, önerilen sistemin tümü, ortam sıcaklığı ve ışınlamanın değişmesinden bağımsız olarak, voltaj izleme ve istenen voltajın takibi konusunda mükemmel bir yanıt göstermiştir.

A New Implementing Approach for Tracking Algorithm on Photovoltaic Systems

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 20.02.2022

Accepted: 23.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

PV system

Buck converter

PI controller

PIC18F4580

MSX-60

Mapping

This paper introduces a modelling technique to overcome the lack of solar cell modules in most of the circuit simulations that deals with the microcontrollers. The new implementation is based on Proteus, which is one of the most popular platforms, and MikroC software. For emulation close to reality, it aims to simulate the MSX-60 panel based on mathematical equations within the possibility of varying the temperature and the incidence irradiation. In addition to testing the validity of the proposed system by comparing the IV and PV characteristics with the outputs provided by the data sheet, the presented study proposes a new technique to implement a tracking voltage algorithm by the PIC18F4580 microcontroller on a variable input system. The source PV system feeds a load with the prior presence of a power electronic device as an intermediate. The buck converter uses this part to simultaneously follow the desired output voltage and achieve the best performance in case of disturbance. The detailed discrete PI algorithm

implementing process and the mapping technique with the other associated accessories presented here are rarely used elsewhere. Simulation results proved the validity of the proposed modelling by confirming the relationship between both the irradiation and temperature with voltage. In the closed-loop control system of the buck converter, the proposed system all showed a perfect response regarding the voltage tracking and chasing the desired voltage irrespective of varying the ambient temperature and the irradiation.

To Cite: Hasan M., Altinoluk S. A New Implementing Approach for Tracking Algorithm on Photovoltaic Systems. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1244-1273.

1. Introduction

Renewable energy's usage has been restrained by human innovation. It has been harnessed since ancient times via various technologies. In addition to the adverse impact of the use of conventional methods, exponentially ascending of energy demand are the main reasons for the global warming crisis that in some way pushing the whole world toward the brinkmanship (Ayim et al., 2019). These facts emphasize the need for us to explore additional sustainable energy resources for saving our planet (Çiftçi et al., 2020). In this regard, one of the promising ways is investment in solar energy, which is one of the cleanest and free recourses in nature (Bulut et al., 2018). Being able to convert solar energy into electrical energy will solve the energy demand problem.

The photovoltaic (PV) system converts the incident sunlight beam directly into electrical energy. The PV system is based on solar cells, and these cells are connected in either parallel or series manner for forming a PV module that is further being connected together in a specific style to form a PV array. According to the desired voltage and the application requirements, PV connections can end up as either array or module. The reason for that is the higher electrical energy production will occur by increasing the area of the PV array or module interacting with the sunlight. The P-V and V-I PV system characteristics can be deduced by the characteristic equation of the single diode equivalent circuit of the PV system (Orioli, 2020).

Although free energy source based PV applications innated on PV cells are very attractive, the shortage of accurate voltage control beside the wasted energy can be the troublesome part of this technology. From this point of view, one of the proposed techniques to overcome this dilemma is connecting a power electronic device intermediately between the PV cell and the load. This device will adjust the output voltage and reduce the power loss (Loba and Salim, 2013; Kandilli, 2017; Pal et al., 2017; Zhou and Macaulay, 2017).

In general, the efficiency of a PV cell depends on the manufacturing materials and the utilized control mechanisms.

The amount of benefiting from the sun will be different at different times of the day (e.g., night and day, irradiation, ambient temperature). For that reason the user expects from the solar cell handing the different amount of power around a day. In this regard, the Maximum Power Point Tracking (MPPT) technique used to extract maximum allowable power from the solar cell irrespective of environmental conditions (this theme beyond the aim of this work).

As stated in our previous work, PV ambient temperature and irradiation amounts are the factors having the most effective impact on the output characteristics of a PV cell (Mustafa et al., 2020). Increasing temperature has a negative effect on the system, but for irradiation just vice versa (Wang et al., 2021). For that reason, in specific applications that need to operate or run at a certain voltage, regardless of the output disturbance, there must be a power electronic device to compensate the change.

In solar panels, one of the proposed techniques to regulate the output voltage is using a buck converter. It is a power electronic device used for diminishing the input voltage to a range from 0 up to the input voltage via manipulating the duty cycle (Rashid, 2011). The microcontroller is used to generate and control the frequency and the duty cycle value of the Pulse-Width Modulation (PWM) signal. To validate the efficiency and the performance of such a system, the PV panel needs to be modelled. To achieve this an intensive effort has been done by researchers and companies. Nowadays MATLAB/Simulink and other related simulation softwares had included the PV model (Erdoğan et al., 2014; Motahhr et al., 2015; Akcan et al, 2020); nevertheless, these tools suffer from a shortage of existing electronic board or a microcontroller in which our proposed technique would be tested or implemented. Consequently, for our work, these kind of platforms are neither trusted, nor suitable for validating the proposed algorithm.

Despite all of the evolution and progress that PV cells developed in terms of fabrication and manufacturing, it does not exist as a device or a component in most circuit simulation platforms. To overcome this lack and shortage, we designed a prototype to emulate this shortfall and fill the gap in this aspect.

One of the most popular tools to deal with the existence of microcontrollers and electronic boards is Proteus. To make sure that Proteus is keeping pace with PV technological developments, (Motahhir et al., 2017) the authors designed a PV system based on a mathematical equation of a single diode equivalent circuit regardless of the temperature and irradiation, and other weather conditions changes during the day. In literature, double diode model was also used, instead of one (Yaqoob and Obed, 2020).

In (Chalh et al., 2020) work, they went beyond that and they tested it with MPPT. If more detailed examination is done, it can be deduced that none of them has taken into consideration to simulate the case of the temperature or irradiation change on a fully connected system. The researchers preferred changing the SPICE code for the diode, which can be assumed to be relatively easier.

To address this deficiency, we developed a prototype system that would simulate the case of adjusting the system operating conditions, irradiation, and temperature. Then our model is validated by comparing the outcome data of PV characteristic with experimental one provided by the MSX-60 PV datasheet. The second part of our work includes the derivation and implementation of a unique digital PI algorithm applicable in the microcontroller unit; used to keep the output voltage of a designed buck converter working at a constant voltage irrespective of varying the ambient temperature or the irradiance.

2. Materials and Method

The process flow chart of the research study and the components of the system are illustrated in Figure 1 and in Figure 2 respectively. The system consists of: i) PV cell with parameters provided at the manufacturing datasheet, ii) step down converter, iii) feedback to sense the output voltage and fed it back to the proposed controller to obtain constant output voltage at the load irrespective of the variation in solar irradiance and temperature, iv) resistive load, v) Proportional-Integral controller, and vi) Keypad for opting the desirable input voltage. The proposed schematic is developed using Proteus 8,9. Meanwhile, the MikroC platform is used as a base for implementing the real-time microcontroller. The mapping process acts as an intermediate part between adjacent inconsistent parts. In other words, it is used for scaling the output values of the first block to another range. The voltage divider is used to protect the microcontroller from burning due to excessive voltage and achieving the mapping process on the output value of the digital PI controller converting it to another scale. The voltage applied on DC load is fed back to the digital controller through a voltage divider for aforementioned reasons, besides, to compare it with the desired voltage. The result represents the error which is used as the base for producing the duty cycle value driving the MOSFET of the buck converter.

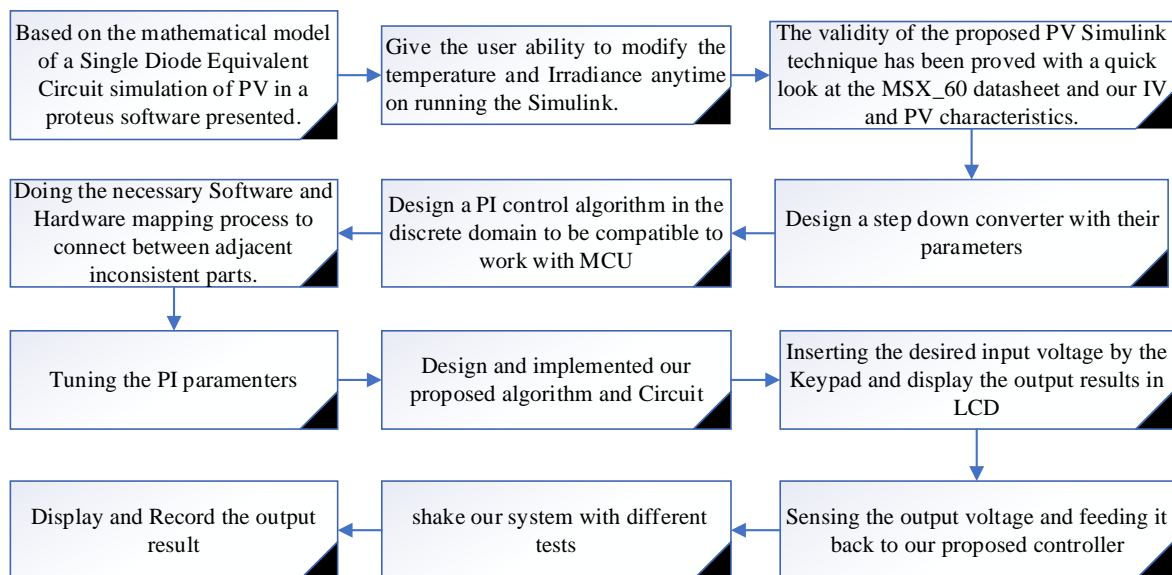


Figure 1. The flow diagram of the study.

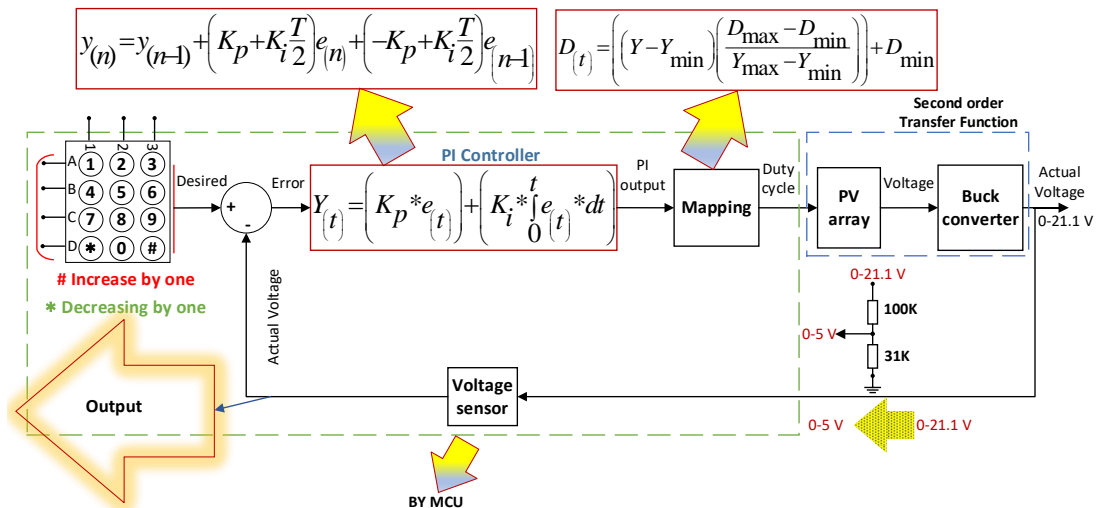


Figure 2. The proposed system for controlling the output voltage by PIC18F4580.

The solar PV module is the main voltage source feeding the DC load with a constant voltage through the buck converter. PIC18F4580 plays a pivotal role in these processes: starting from selecting the desired voltage and so on, and ending up to produce the PWM signal. The PIC18F4580 roles in this algorithm are:

- Playing a pivotal role during selection of the desired voltage in the Keypad and modifying while the system is running.
- Sensing the actual output voltage via the help of ADC registers and feeding it back to subtract it from the desirable one.
- Since we are dealing with MCU in the tracking algorithm part, in other words, we have to deal with the discrete domain. So, after deriving the applicable PI discrete domain in MCU, the calculated error entering that discrete equation forming PI output.
- The PI output values need to be scaled or mapped to another specific range; the MCU is responsible for that part.
- Finally, with MCU help CCP produces the PWM signal at a specific frequency and controls the output duty cycle. The PWM signal uses to keep the system operate as the user desires. In addition to that, the MCU is responsible for the LCD, showing the output voltage value, the desired one, and the duty cycle value.

2.1. Solar cell modelling and simulation

Providing an accurate mathematical model is a crucial step to simulate the circuit of the solar cell. According to (Zekry et al., 2018) the below equations summarize the mathematical equations that describe the solar cell in the single-diode model form as depicted in Figure 3. It consists of a current source in parallel with one diode beside shunt and series resistors (Luque and Hegedus, 2011).

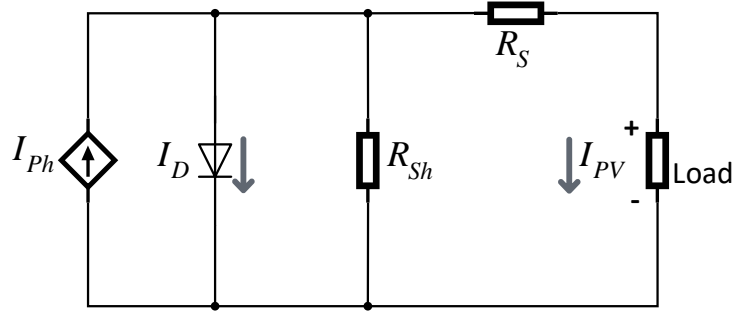


Figure 3. Equivalent circuit of PV cell.

$$I_{Ph} = \frac{G}{G_{(STC)}} I_{SC(STC)} + [(T - T_{STC})K_i] \quad (1)$$

$$I_{s(STC)} = \frac{I_{SC(STC)}}{\frac{q \cdot V_{OC(STC)}}{e^{K_B \cdot T_{STC} \cdot N_s \cdot n} - 1}} \quad (2)$$

$$I_s = I_{s(STC)} \left(\frac{T}{T_{STC}} \right)^3 * e^{\frac{-qE_g \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{STC}} \right)}{n \cdot K_B}} \quad (3)$$

$$I_D = \left(e^{\frac{q(V + I_{PV} R_S)}{K_B \cdot T \cdot N_s \cdot n}} - 1 \right) * I_s * N_p \quad (4)$$

$$I_{sh} = \frac{V + I R_S}{R_{sh}} \quad (5)$$

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_D - I_{sh} \quad (6)$$

$$V_{OC} = V_{OC(STC)} + [(T - T_{STC})K_v] \quad (7)$$

The solar cell precise modelling is based on the accurate parameters' extraction in that model. These parameters are I_{Ph} , I_s , R_s , R_{sh} , and n . In our work, the Solarex MSX-60 panel modelling is based on (EL Tayyan, 2013) extraction work and the datasheet of the manufacturer's specifications which are given in Standard Test Conditions (STC).

$$I_{Ph} = G * 3,8m + [(T - 298)2,4m] \quad (8)$$

Scaling the voltage from a range 0 to 5 V to yield the irradiation in range 200 to 1000 $\frac{W}{m^2}$ done by $G = 160 * V_G + 200$. Meanwhile Scaling the voltage from a range 0 to 5 V to yield the temperature in Kelvin in range 298 to 338 k done by $T = 8 * V_T + 298$.

$$I_{Ph} = (160 * V_G + 200)3,8m + [(8 * V_T)2,4m] \\ I_{Ph} = (160 * V_G + 200)3,8m + [(0,0192 * V_T)] \quad (9)$$

Equation 9 was used in Proteus and depicted in Figure 4 to yield the light generated current.

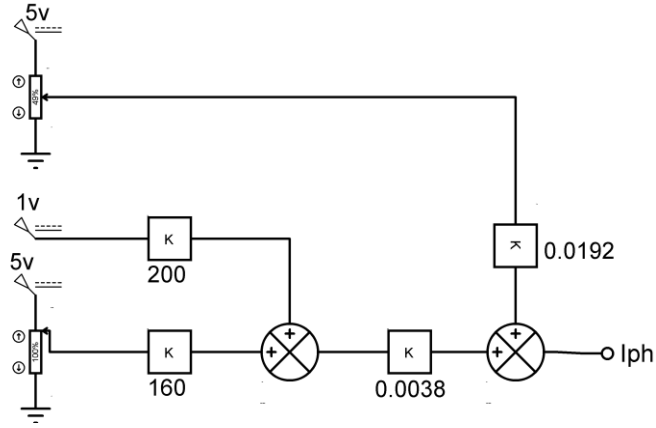


Figure 4. Modelling the light generated current.

Solving equations 2 and 3 yield:

$$I_s = \frac{I_{SC(StC)}}{\frac{q \cdot V_{OC(StC)}}{e \cdot K_B \cdot T_{StC} \cdot N_s \cdot n} - 1} \left(\frac{T}{T_{StC}} \right)^3 * e^{\frac{-qE_g \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{StC}} \right)}{n \cdot K_B}}$$

$$I_s = \frac{3,808}{\frac{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 21,1}{e \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 36 \cdot 1,045} - 1} \left(\frac{T}{298} \right)^3 * e^{\frac{-1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 1,11 \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)}{1,045 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}}$$

$$I_s = 1,245198 * 10^{-9} \left(\frac{T}{298} \right)^3 * e^{-12326,31606 \cdot \left(\frac{1}{T} - 0,003355 \right)} \quad (10)$$

Equation 10 was depicted in Proteus as shown in Figure 5 to yield the saturation or leakage current of the diode.

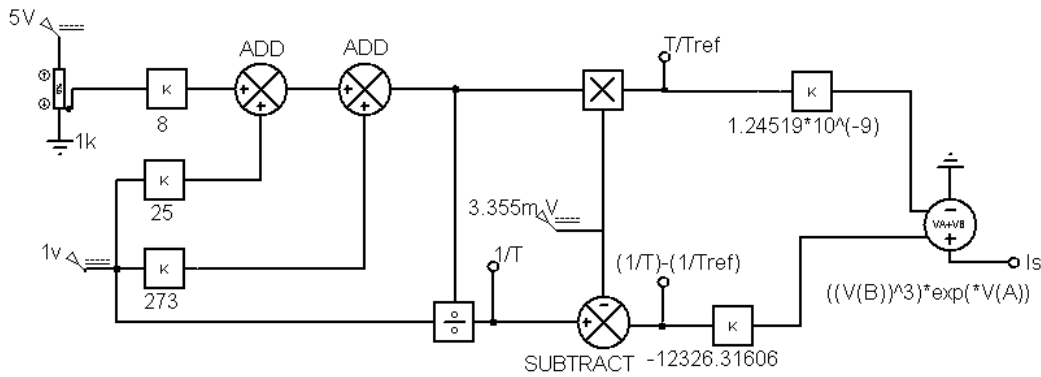


Figure 5. Modeling the saturation current of the diode.

$$I_D = \left(e^{\frac{1,602 \cdot 10^{-19} (V + I_{PV} \cdot 0,316)}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot T \cdot 36 \cdot 1,045}} - 1 \right) * I_s$$

$$I_D = \left(e^{\frac{308,4663679 (V + I_{PV} \cdot 0,316)}{T}} - 1 \right) * I_s \quad (11)$$

Then, to determine the diode current, equations 11 and 6 were used in Proteus, as illustrated in Figure 6.

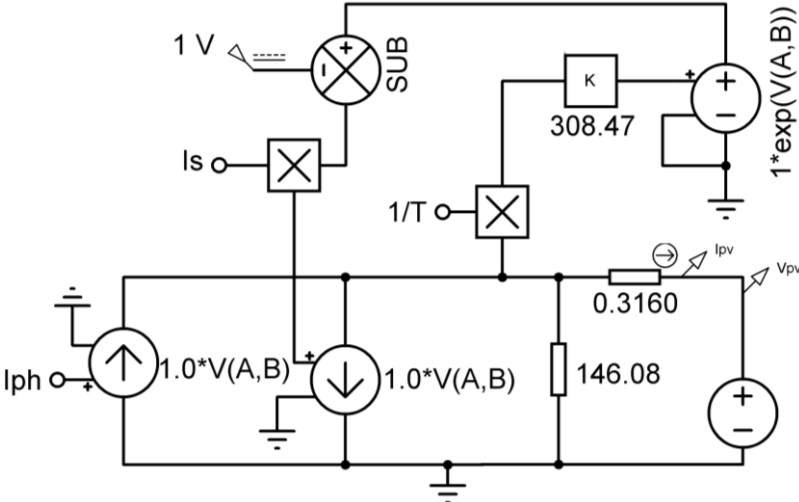


Figure 6. Modelling the diode current.

In Figure 7 the full MSX-60 model with the possibility of modifying both of the temperature varying from 25°C to 65°C and irradiation changing from 200 up to 1000 $\frac{W}{m^2}$ has been done in Proteus software. As the MSX_60 has been modeled, the second step is to test the validity of our proposed system, as depicted in Figure 7. From the first glance, comparing the IV and PV of our modeling under different operating conditions with the data given in the datasheet look like the best choice. Here in this work, the IV and PV solar characteristics of 1000 $\frac{W}{m^2}$ and 200 $\frac{W}{m^2}$ irradiancies with different temperature setpoints 25 °C, and 65 °C are shown in Figure 8. The temperature has negative effect on both of voltage and power, meanwhile irradiation has positive effect due to increase in the number of photons hitting the surface.

With the increase of light intensity, the maximum output power, short-circuit current, and open-circuit of the solar cells increase. Therefore, the higher the light intensity, the higher the output current and generated power will be.

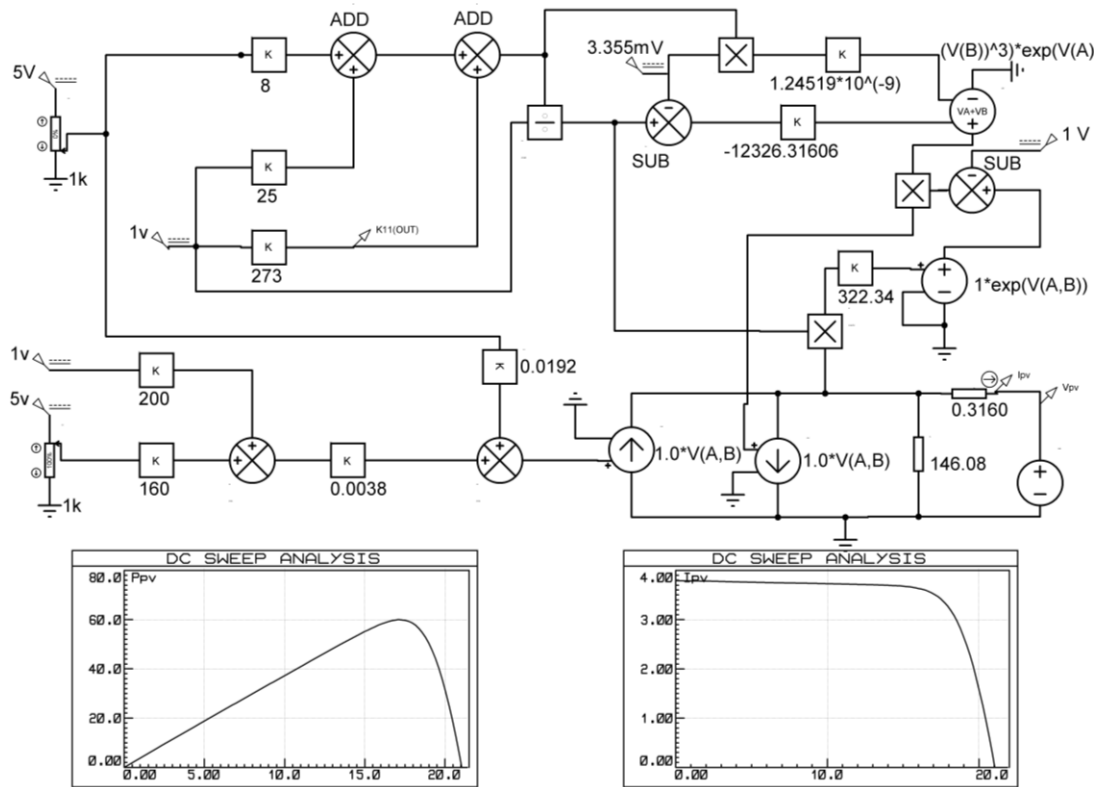


Figure 7. Modelling MSX-60 PV panel.

It is an irrefutable fact that bandgap mitigation is associated with increasing the temperature, in consequence, the more electron-hole pairs are created, and an increase in the energy of elections can be clearly seen. In this context, a slight increase in the short circuit current from 3.792 A to 3.888 A was occurred with increasing the temperature from 25°C to 65°C under $1000 \frac{W}{m^2}$ irradiance. On the other hand, the behavior of reverse saturation current is proportional with the square of the intrinsic carrier concentration, which in term has an exponentially inverse relation with the band gap energy. As a result of that impact, decreasing the fill factor value and the open circuit voltage are expected with increasing the temperature. In Figure 8, the open circuit voltage dropped from 21.05 V to 18.1 V with increasing of the temperature with 40 °C above the room temperature. As a result, the temperature coefficient behavior of the short-circuit current and the open-circuit voltage is reversed. In that regard, increasing the temperature leads to decrease in the maximum power, because the decrease in the maximum voltage does not compensate the increase in the maximum current.

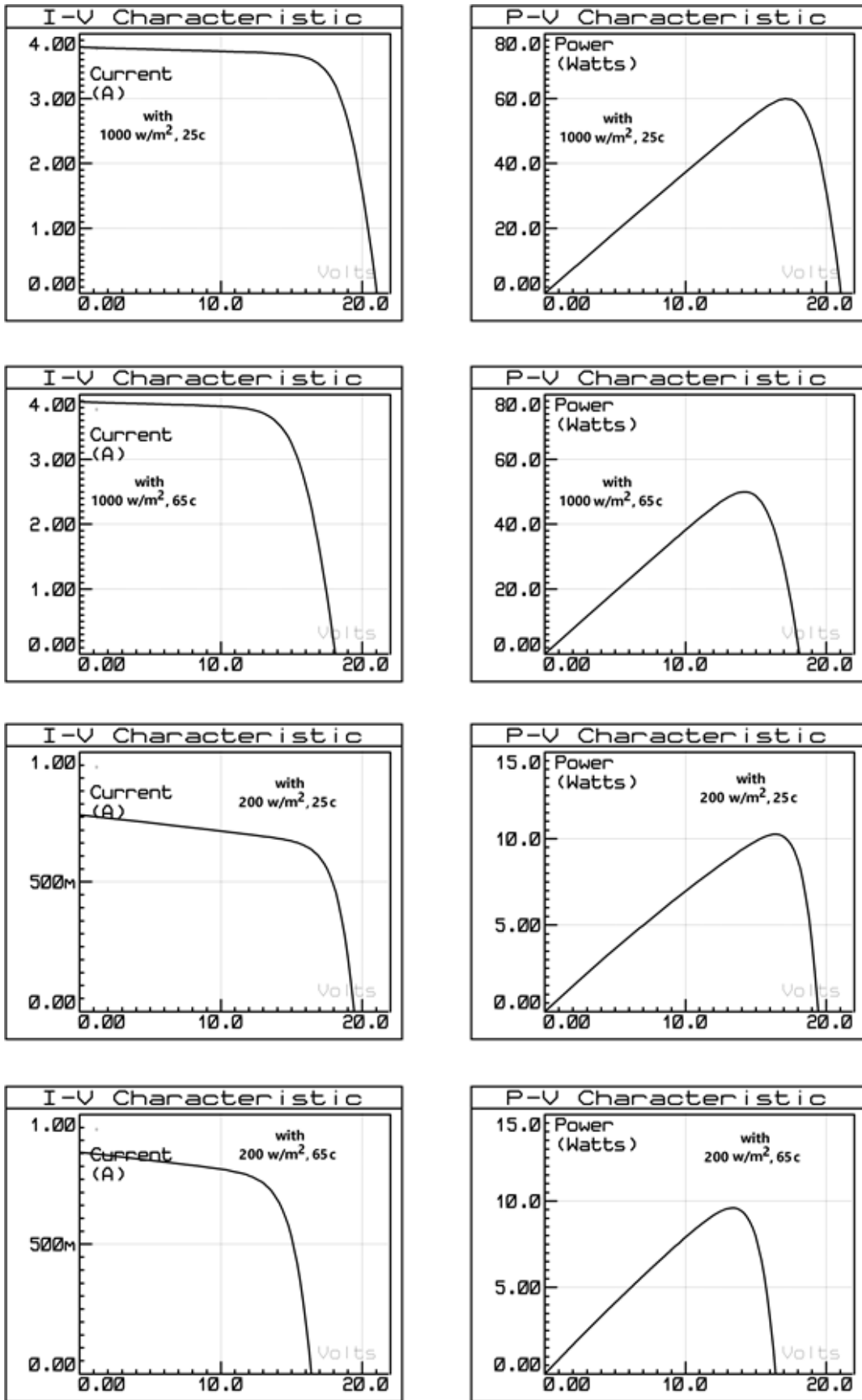


Figure 8. I-V and P-V characteristics of our model for MSX-60 panel and different temperature and irradiation values.

2.2. Keypad

Besides selecting the primary desirable output voltage of the system, the other crucial feature developed by the authors associated with keypad work is the flexibility to adjust the output voltage at any time by pressing on # to increase it by one, or * to decrease it by one, with putting in our consideration the maximum and minimum allowable adjustment which is done by software.

2.3. Buck converter analysis

In Figure 9, the duty cycle of the MOSFET represents the control variable, with $\frac{1}{T_s}$ switching frequency. The MOSFET is 'off' during the interval $(1 - d)T_s$ and 'on' during dT_s .

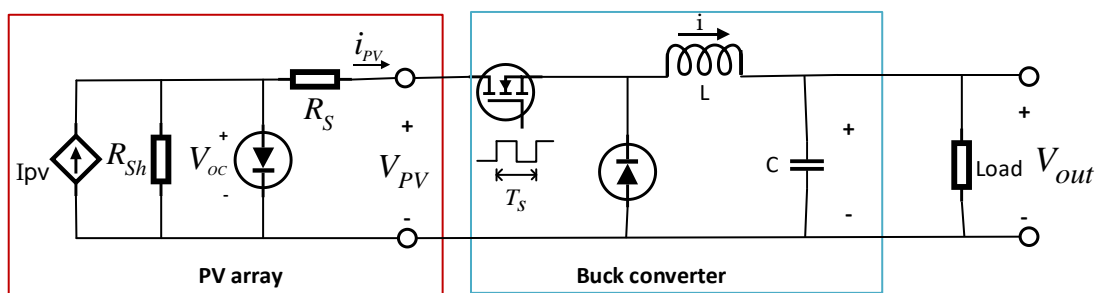


Figure 9. Schematic diagram for step down converter fed by PV array.

The principle behind the buck converter mechanism is to supply a voltage with a range from zero up to the input value. Its operating principle is manipulating the duration of time in which the energy is granted to the inductor. Two modes are sub-divided under the Continuous Mode Power Supply (CMPS). For the circuit in Figure 10a, mode1 starts at $t=0$ when the switch is turning on. In this case, the source input supplies energy directly to the inductor, and the diode is reversely biased. The second mode is shown in Figure 10b. In which both the inductor and capacitor contribute to supply the energy to the load.

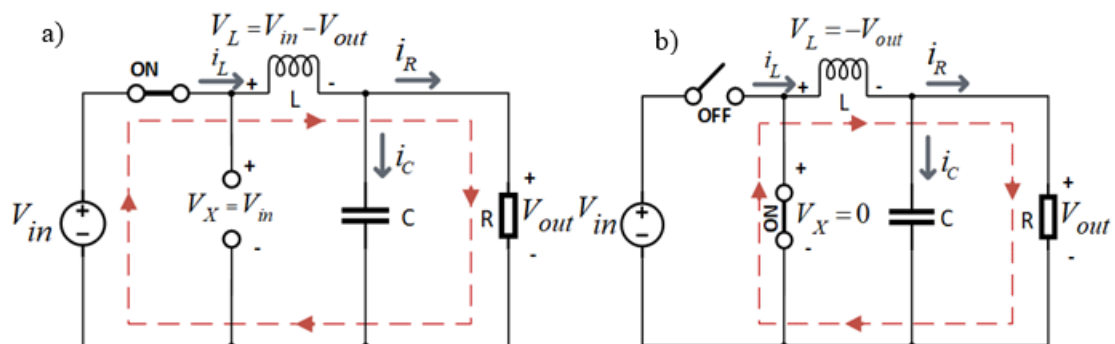


Figure 10. a) Switching ON mode for the buck converter. b) Switching OFF mode

In general, the input voltage is greater than the output voltage and is expressed as (Rashid, 2011).

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{D} \quad (12)$$

where V_{in} is the input voltage from MSX-60 solar panel, and V_{out} is input voltage, and D is duty cycle. To avoid falls the converter behind the discontinuous mode case, there must be no period of a zero-inductor current between switching off and on period, the critical inductor value expressed as (Rashid, 2011):

$$L_{Critical} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (13)$$

The minimum inductance value is $L_{Critical}$, f is the switching frequency, which is 30k Hz, and R is the output resistance, which is 7Ω .

To overcome the DMPS, the minimum value of inductance had calculated with the following constraints: input voltage 21 V and desirable output voltage 8 V.

$$L_{Critical} = \frac{\left(1 - \frac{8}{21}\right) * 7}{2 * 30k} = 7,222 * 10^{-5} \text{ H}$$

For safety $L > 1,4 L_{Critical}$

$$L = 1,3 * 10^{-4} \text{ H} = 130\mu\text{H} \quad (14)$$

For matching the desired ripple of the output voltage, which is 0,03, the minimum capacitor value is (Rashid, 2011).

$$C_{min} = \frac{(1-D)V_{out}}{8Lf^2\Delta V_{out}} \quad (15)$$

$$C_{min} = \frac{\left(1 - \frac{8}{21}\right) * 8}{8 * 1,3 * 10^{-4} (30k)^2 * 0,03} = 176,3 \mu\text{F}$$

The capacitor value has been taken as, $C=200\mu\text{F}$.

$$C=200\mu\text{F} \quad (16)$$

2.4. Proportional Integral Implementation

PI controller is very well known by engineers and researchers working in related fields. However, when the PI algorithm is implemented with microcontroller applications, the situation becomes a bit complicated and requires knowledge not easily available in the technical literature.

The aim behind this section is to overcome the lack of technical information about employing PI controller in the discrete domain after converting it from the conventional analog from, which associated with the microcontroller usage.

This detailed analysis and the derivation of the PI controller in discrete domain with a microcontroller and using it to get access to constant output voltage under different external ambient conditions will provide important contributions to researchers.

According to the literature, the factor K_i multiplied by the area under the curve represents the integral part, from Figure 11 the bounded area between $(aT-T)$ and (aT) can be pictured as a trapezoid.

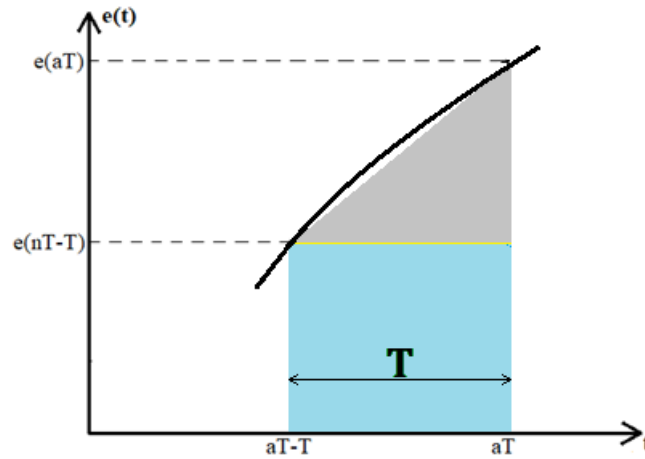


Figure 11. Demonstration of the PI controller integral part.

$$y(t) = K_i \int_0^t e(t) \cdot dt = \left(K_i \int_0^{aT-T} e(t) \cdot dt \right) + \left(K_i \int_{aT-T}^{aT} e(t) \cdot dt \right) \quad (17)$$

For the below equation, the area up to $(aT - T)$ is represented by $y_{(aT-T)}$, and the incremental area for T period are represented by $\Delta y_{(aT, aT-T)}$.

$$y_{(aT)} = y_{(aT-T)} + \Delta y_{(aT, aT-T)} \quad (18)$$

By investigating Figure 11 the trapezoid area can be taking apart into two parts triangle and rectangle as it explains in the below equation.

$$\Delta y_{(aT, aT-T)} = K_i \left(\frac{1}{2} * T(e_{(aT)} - e_{(aT-T)}) + T * e_{(aT-T)} \right) \quad (19)$$

$$\Delta y_{(aT, aT-T)} = \frac{TK_i}{2} (e_{(aT)} + e_{(aT-T)}) \quad (20)$$

By substituting equation 18 in 20 yielded to

$$y_{(aT)} = y_{(aT-T)} + \frac{TK_i}{2} (e_{(aT)} - e_{(aT-T)}) \quad (21)$$

Taking the Z-transform yielded in

$$Y_{(z)} = Y_{(z)} Z^{-1} + \frac{TK_i}{2} (E_{(z)} + E_{(z)} Z^{-1}) \quad (22)$$

So, the transfer function of the integral part is

$$\frac{Y(z)}{E(z)} = \frac{TK_i}{2} \left(\frac{Z^{-1}+1}{Z^{-1}-1} \right) = K_i \frac{T}{2} \left(\frac{1+Z}{Z-1} \right) \quad (23)$$

With combining the integral and proportional parts

$$\frac{Y(z)}{E(z)} = K_p + K_i \frac{T}{2} \left(\frac{1+Z}{Z-1} \right) \quad (24)$$

$$\frac{Y(z)}{E(z)} = \frac{K_p(Z-1) + \left(K_i \frac{T}{2} (1+Z) \right)}{Z-1} = \frac{(Z * (K_p + K_i \frac{T}{2})) + (-K_p + K_i \frac{T}{2})}{Z-1} \quad (25)$$

$$\frac{Y(z)}{E(z)} = \frac{(K_p + K_i \frac{T}{2}) + \left((-K_p + K_i \frac{T}{2}) * Z^{-1} \right)}{1 - Z^{-1}} \quad (26)$$

$$Y(z) - Z^{-1}Y(z) = (K_p + K_i \frac{T}{2})E(z) + (-K_p + K_i \frac{T}{2})Z^{-1}E(z) \quad (27)$$

$$Y(n) = y_{(n-1)} + \left(K_p + K_i \frac{T}{2} \right) e_{(n)} + \left(-K_p + K_i \frac{T}{2} \right) e_{(n-1)} \quad (28)$$

Equation 28 is used as the base for implementing the Proportional-Integral algorithm via the microcontroller. PI parameter has found by the trial and error as the following $K_p=0,5589359$ and $K_i = 21,41635$.

2.5. Mapping

In Figure 2, two mapping processes have been represented. First one executed by software on microcontroller which is responsible for changing the range of the PI controller output to another range represent the duty cycle. The second mapping process executed hardware for feeding back the output voltage by using voltage divider to protect the microcontroller from overvoltage.

2.5.1. Software mapping

Software mapping is used to adjust the PI controller output range to another scale representing the duty cycle, the details and deriving are explained below.

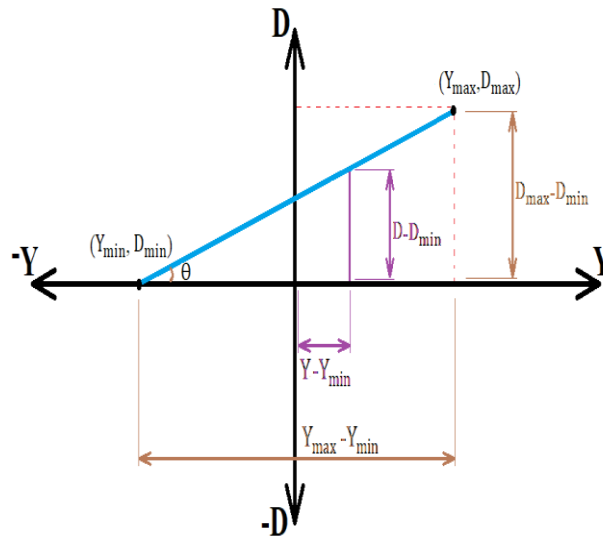


Figure 12. Mapping between PI output value and duty cycle.

By looking closely to Figure 12 and from similar triangular method we can infer:

$$\tan\theta = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} = \frac{Y - Y_{\min}}{D - D_{\min}} \quad (29)$$

Where Y represents the output of PI controller, meanwhile D represents the duty cycle

$$D - D_{\min} = (Y - Y_{\min}) \left(\frac{D_{\max} - D_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right)$$

$$D = \left((Y - Y_{\min}) \left(\frac{D_{\max} - D_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right) \right) + D_{\min} \quad (30)$$

Equation 30 was used as the base for swapping the PI controller output to a duty cycle.

2.5.2. Hardware mapping

The proposed circuit design depicted in Figure 13 supplies maximum output voltage reaching up to 21,1 V, due to constrains associated with the microcontroller, the maximum allowable voltage that could be sensed by PIC18F4580 without damaging it is 5 V, so in this case using voltage divider is a must. The process of scaling the sensible voltage was done on microcontroller by multiplying it with 4,22 to convert it from 0-5 V safe input range up to 0-21,1 V.

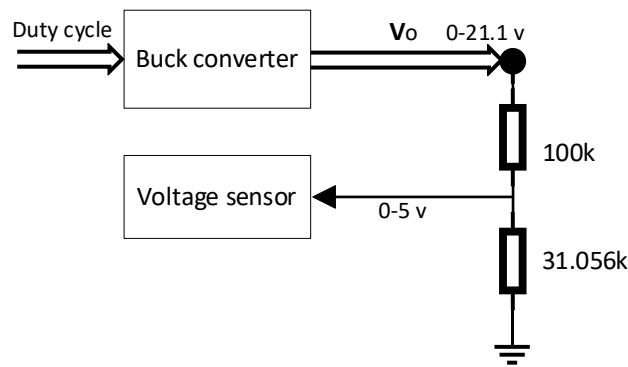


Figure 13. Hardware mapping for feeding back the output voltage.

2.6. Final Circuit Implementation and the Code Algorithm

While working with solar cells, it is crucial to grasp the effect of temperature and irradiation on efficiency. With this regard, the negative impact of increasing the ambient temperature and the positive influence of increasing the irradiation throughout the day is depicted in Figure 8. For specific simple applications, like installing a panel on the rooftop of a pavilion for running an alarm system or simple communication purposes or even charging mobile batteries, supplying steady voltage throughout the day under different ambient circumstances is a must. This work proposes to fill the lack of information about implementing tracking techniques in MCU. The system was designed and tested in Proteus 8. The main blocks and components in this work are:

2.6.1. PIC18F4580 Microcontroller and the keypad

In this section, PIC18F4580 was used. The MCU pins and keypad configurations were connected as depicted in Figure 14.

- Port B was used to connect between the MCU and the keypad.
- LCD connected pins C_0 , C_1 , C_3 , C_4 , C_5 , E_0 .
- MCLR - Master Clear Pin External Reset was connected with a circuit as recommended in PIC18F4580 datasheet (Microchip, 2007).
- A_2 pin: the output voltage of the buck converter was sensed and entered pin A_2 .
- A_3 pin: the output value of the solar cell module was entered with the possibility to sense and display it on LCD even when the temperature and irradiation were changed.

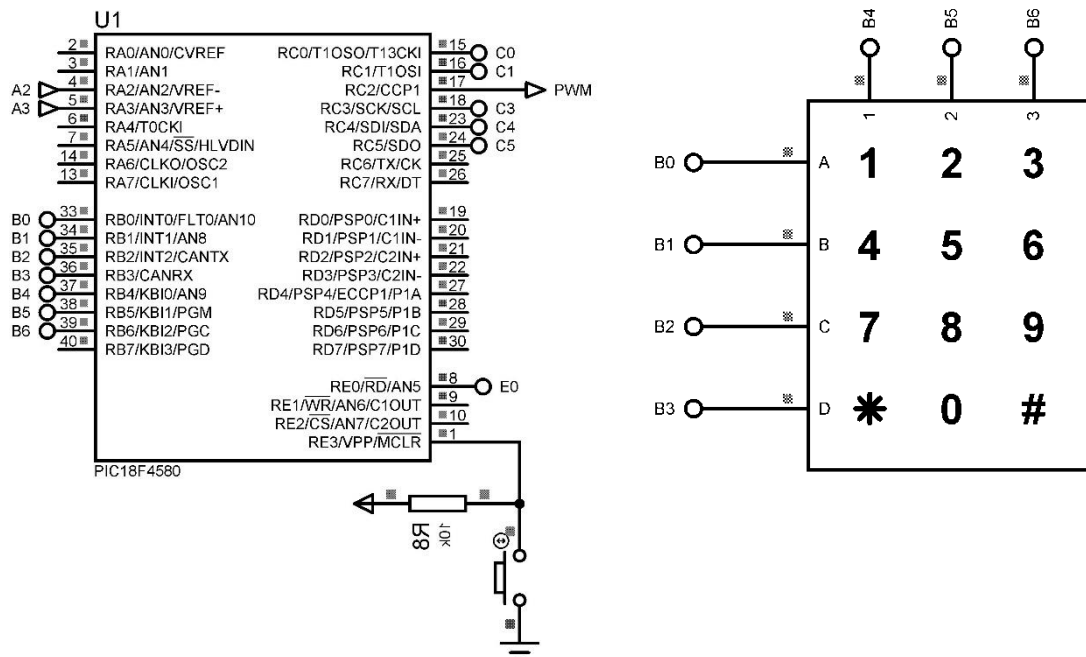


Figure 14. Keypad and PIC18F4580 implementing part.

2.6.2. LCD, Oscilloscope and MSX-60 PV panel

To keep the user in touch with the system, a 16*2 LCD was used. When the simulation is initiated; a welcoming message appears on LCD to ask the user to enter the desirable voltage. If it is with the accepted range, higher than 4 V and less than 15 V, the desired voltage, actual voltage, duty cycle, and the output voltage of the PV module appear in the LCD columns.

With the oscilloscope:

- The output voltage of the buck converter versus time is displayed
- Duty cycle of the system and the way of changing it concerning the desired voltage, which is inferred from dividing the output voltage from the buck converter on the output voltage from the PV module are presented
- Irradiation and temperature are displayed

Figure 15 shows the LCD, oscilloscope, and the subcircuit of MSX-60 PV panel with the existence of DC link capacitor with 25 μ F. The function of the capacitor is energy storage as potential energy. So, it can supply the load when the source is reduced and it will store the surplus power in case of Generator excess, serving as regulator and stabilizer between the source and the load. As it increases, it will store more energy and can fix the voltage for longer time.

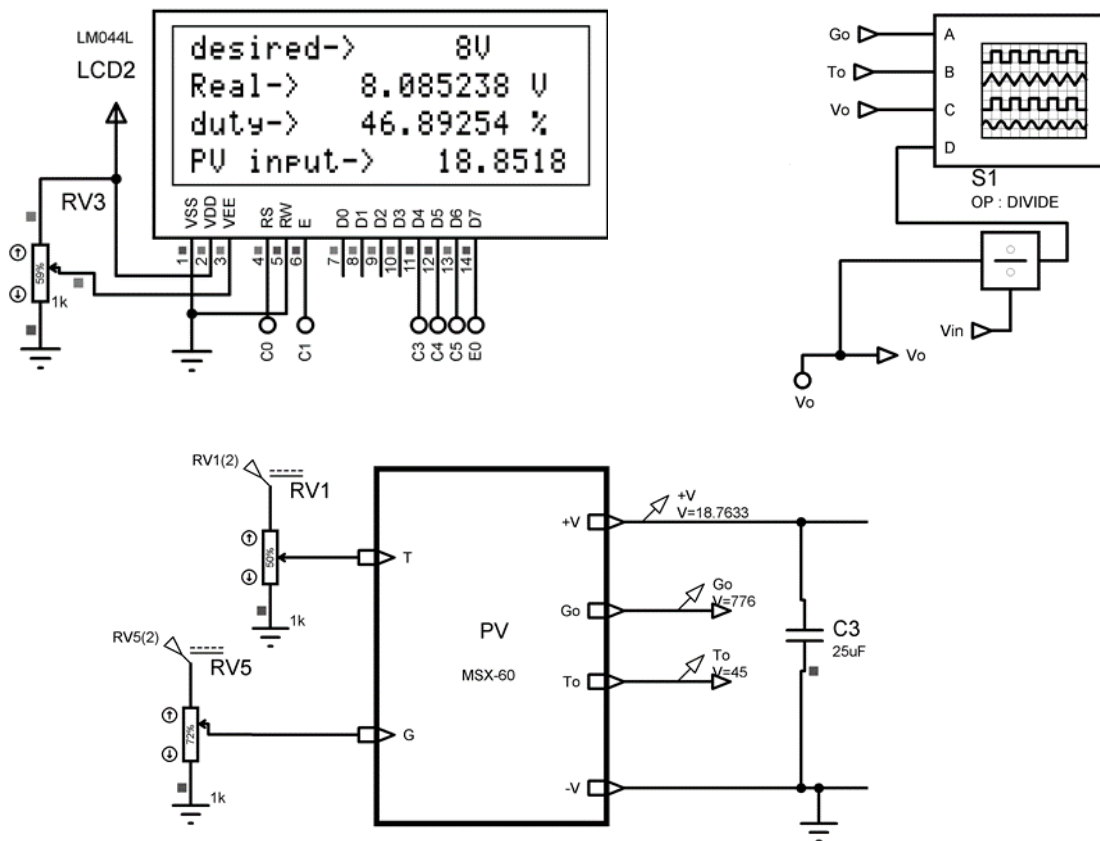


Figure 15. LCD, Oscilloscope and MSX-60 PV panel.

2.6.3. Bootstrap circuit and Buck converter

The proposed schematic represented in Figure 16 includes stepdown converter and its bootstrap with the following buck converter parameters: switching frequency 30 kHz, an inductor ($L=130 \mu\text{H}$), duty cycle ratio (0-100), and capacitor ($C=200 \mu\text{F}$) have determined based on equations 14 and 16. IR2112 has been used as a bootstrap to pull up the operating point of the N-type MOSFET above the solar cell rail for enabling to push the transistor to operate during the ON mode.

F represents the whole system formed after combining Figure 14, Figure 15 and Figure 16. The proposed system has been tested with 8 V desirable input voltage from the keypad; the MCU did the necessary task to present it on the LCD and implementing the discrete PI algorithm on the system. Before importing the PWM signal into N-channel MOSFET and energize the switch to run in the ON period, it is crucial to ensure the PWM amplitude is higher than the thresholding voltage. According to PIC18F4580 specifications, the output PWM voltage ranging from 0 to 5 V, IR2112 circuit is responsible for scaling this signal to a higher range. In the end, the output voltage and the duty cycle has presented in the other columns of the LCD.

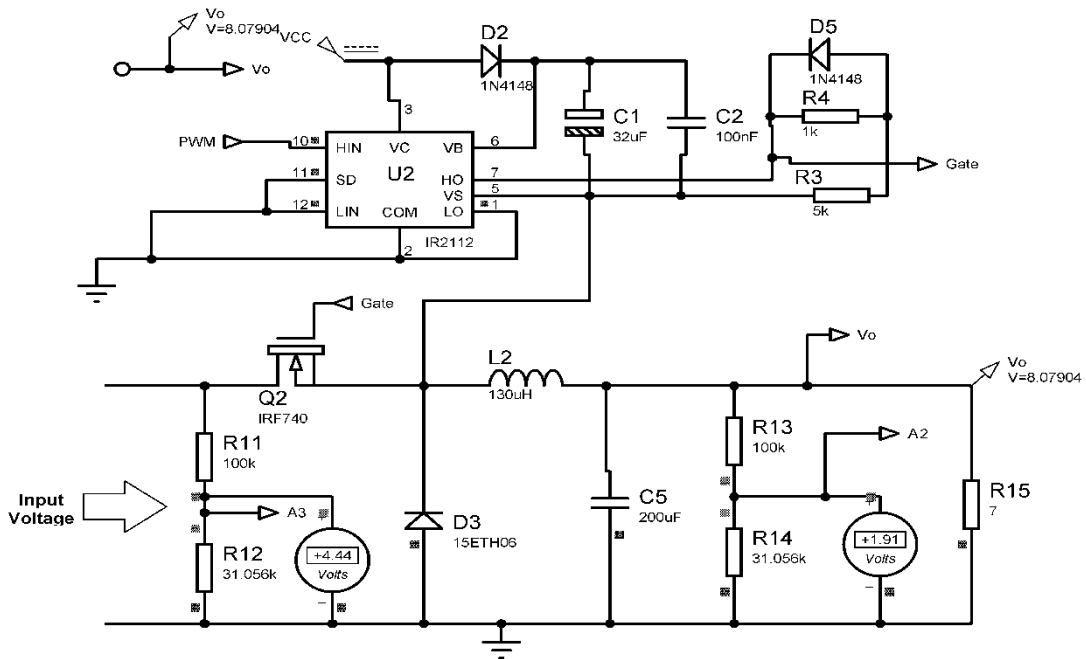


Figure 16. Bootstrap circuit and Buck converter.

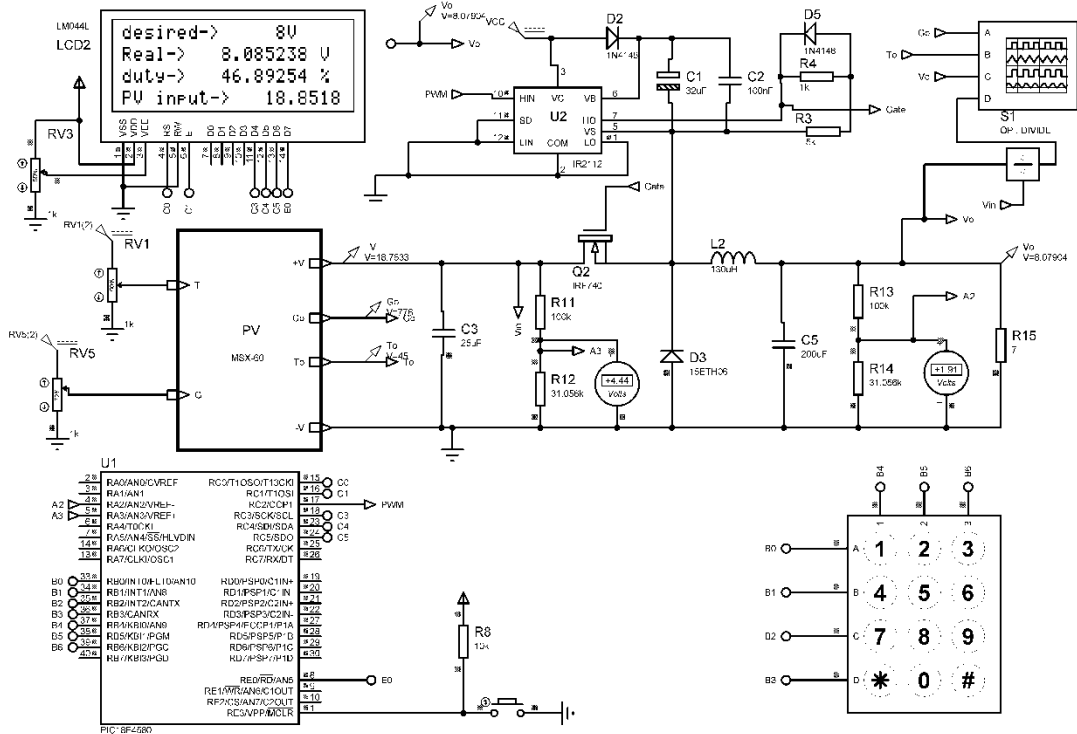


Figure 17. The system schematic diagram of Buck converter fed by PV panel.

Describing the details of the algorithm is one of the main goals behind this work, as presented in Figure 17. Since it contains a lot of information, it is divided into subgroups for simplifying purposes. In this context, they are as described below:

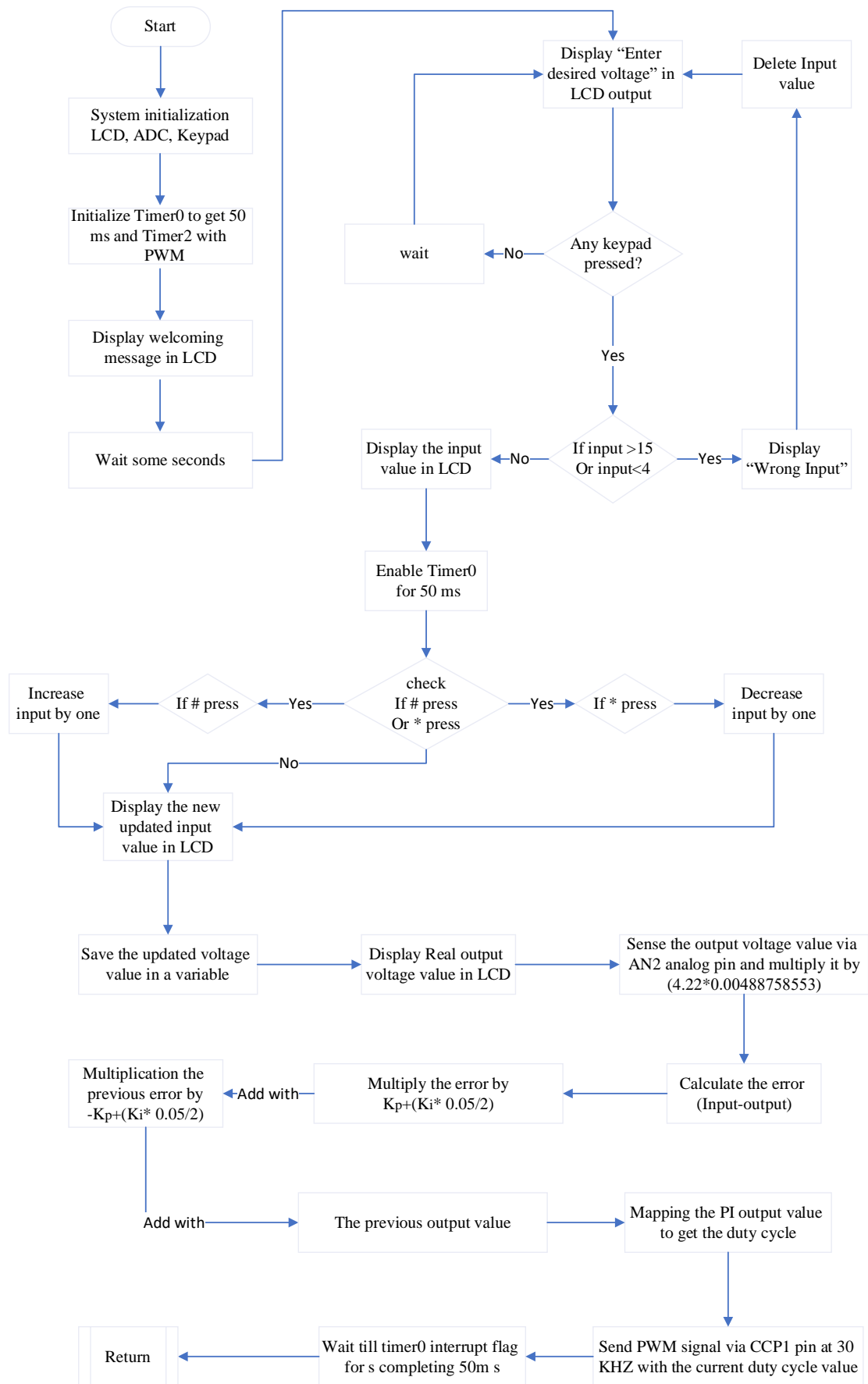


Figure 17. Flowchart for the proposed algorithm.

- The initialization and configuration of Keypad, LCD, ADC, Timer0, and Timer2. In our case with PIC18F4580, the system has been designed and initialized in this way; if the input voltage is not with the range of 5 to 15 V, the user sees a warning message on the LCD saying it was a wrong input. Furthermore, this part includes the initialization of Timer0 for timing 50 ms, Timer2 to control the PWM signal, ADC registers to control sensing the actual voltage as need. T0CON= 0x00; TMR0H = 0x50; TMR0L= 0x38; crystal frequency 8 MHz, Channel 1, 2 to deal with the ADC.
- After the preliminary selection of the desired input, the system enables 50 ms by Timer0 as a sample time to match the pre-requirements of implementing time-varying discrete algorithms. In this part, the system is flexible to modify the desired voltage at any time with the keypad. In the end, the desired value should be saved in a variable whether it has been updated or not.
- Presenting the desired input voltage on LCD is the first thing done in this part. The output voltage of the PV cell or the PV cell module under different temperatures or irradiations is sensed accurately by taking into account to prevent any possible damage to the microcontroller caused by the excessive voltage. In this context, a voltage divider circuit has been used to scale the 0 to 21,1 V to a range of 0 to 5 V. On the other hand, the MCU rescale values these back by multiplying with 4,22.

At the end of this part, the actual buck converter voltage could be sensed via the help of AN2 ADC input pin and multiplied by (4,22*0,00488758553). The previous value 0,00488758553 was deducing from dividing 5 V on 1023, where 1023 is the number of levels in ADC, which comes from the fact that PIC18F4580 contains 10 bits. This way guarantees to protect the MCU from burning without effect on the accuracy of measurements.

- In this part, it is shown that subtracting the actual voltage from the desired one forming the error. The error value is saved as a current variable value to multiply by 0,612476 according to equation 28.

Multiply the error by $K_p + \left(K_i * \frac{T_s}{2}\right)$

K_p is 0,5589359, K_i is 21,41635, and T_s is 50 ms.

This outcome adds with the multiplication of the previous error value by $-K_p + \left(K_i * \frac{T_s}{2}\right)$

$drive = \left(K_p + \left(K_i * \frac{T_s}{2}\right) * \text{current error value}\right) + \left(-K_p + \left(K_i * \frac{T_s}{2}\right) * \text{previous error value}\right)$

The value of the above equation added to the previous value of the final PI outcome of equation 28. To import the PWM signal in circuit switch with suitable duty cycle value, mapping it from the current range to a range from 0 to 255 because the controlling register of PWM signal is Timer2 which consists of 8 bits.

3. Circuit Simulation Results and Discussion

The validity of the designed system has been tested under different weather conditions to bring it closer to reality.

In order to be aware of the proposed research's status concerning the stand-alone case without a battery system, a brief literature review was considered by the authors. At the beginning of the study, due to the absence of the PV device in Proteus, which is one of the most common platforms used with MCU, a lot of uncertainty came with (Ghani et al., 2019) results when DC voltage source was used instead of the PV device. In the studies of researchers who saw this deficiency, such (Salman et al., 2018), skip the simulation part on Proteus and went through implementing the hardware circuit directly without the pre-checking with trusted platforms for the same aforementioned reason.

Furthermore, the difficulties associated with utilizing the MCU unit in the Discrete PI controller are rarely found elsewhere, because most researchers didn't prefer the challenging route and they implemented it with Arduino (Suroso et al., 2020) which would restrain with specific libraries and specific pre-set algorithms. In this context, others concentrated on implementing their system on MATLAB, if it was hardware or just simulation on MATLAB, without the capability to implement on Proteus (Doubabi et al., 2018; Ergin Şahin, 2020).

Although (Geethanjali and Sidram, 2018; Motahhir et al., 2018; Chalh et al., 2020) works, can be considered as the closest to proposed work, there is a big difference. They have simulated the PV system with Proteus but without the ability of modifying the weather conditions, and they tracked the MPPT without any consideration of tracking the desired voltage with the discrete domain, which is considered as the most challenging part in this field. With the success of validating our proposed system, based on our PI discrete domain derivation, future work including another traditional control algorithm is planned to be implemented in the discrete domain. The results of whole system will be re-validated by implementing the system with the hardware part.

As mentioned in the buck converter section, the directly proportional relationship between the actual voltage and the duty cycle has been confirmed successfully as shown in Figure 18. In which the desired voltage can be modified while the simulation is running.

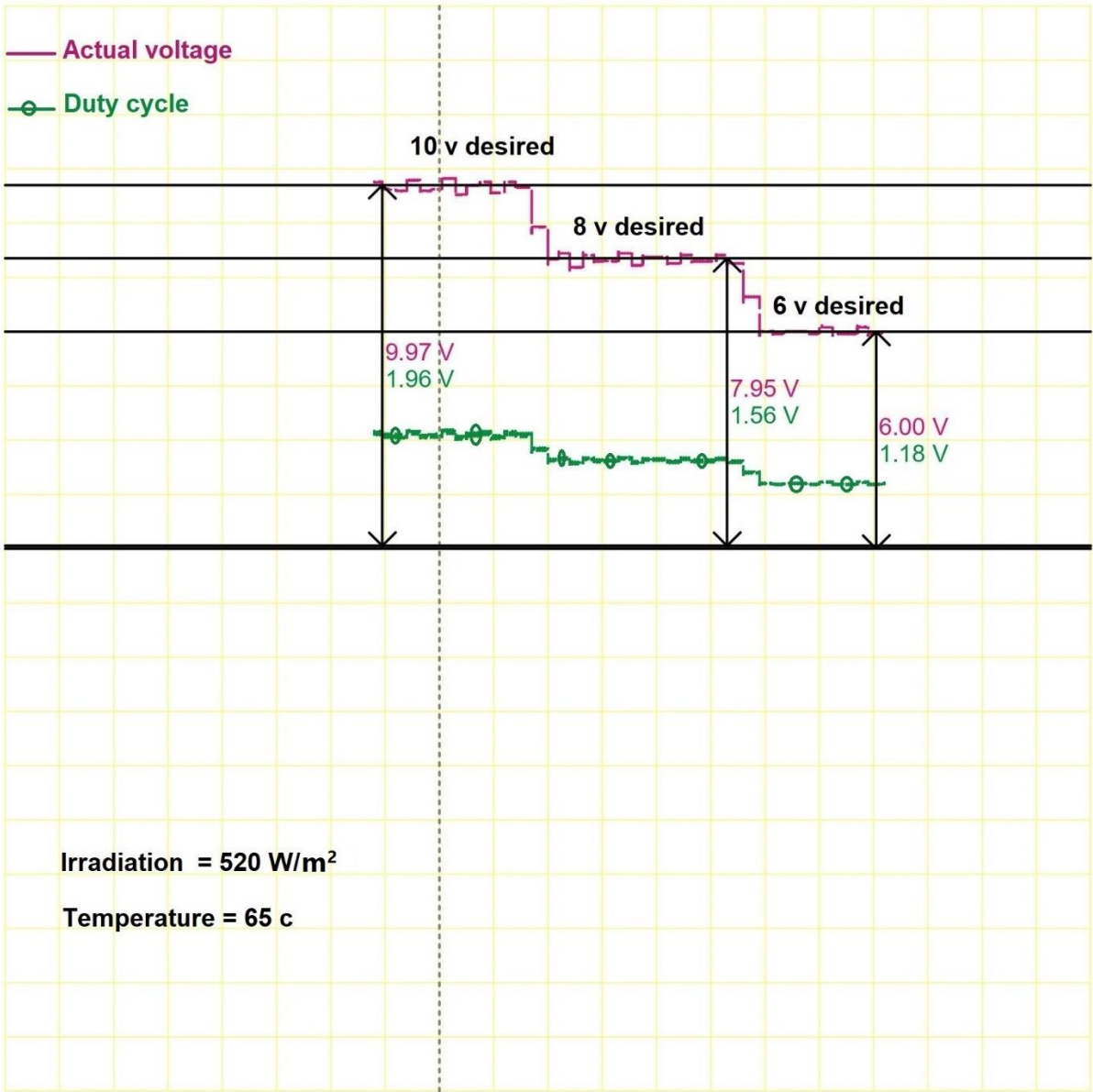
At the beginning the user opted for 10 V as the desired input voltage with irradiation and temperature values of $520 \frac{W}{m^2}$ and 65 °C respectively, the implemented PI algorithm in the discrete domain showed itself by increasing the duty cycle to a value in which the output voltage matches the desired one around 0,61. After the voltage settled down, a modification in the desired voltage value occurred; via pressing two times on* from the keypad to be 8 V. Again, the PI algorithm played a pivotal role in decreasing the duty cycle to 0,485 to match our requirements. In the end, the duty cycle reaches to 0,358 value when the desired voltage is 6 V. With all of these aforementioned results, the direct relationship between the actual voltage and the duty cycle has been proven successfully.

The validity of our algorithm to make a perfect voltage tracking regardless of the ambient temperature has been proved as depicted in Figure 19. In this case: the system parameters have been chosen as 8 V desired voltage and $520 \frac{W}{m^2}$ irradiation, while the temperature is changeable via the help of the potentiometer and its mapping accessories circuit. As the simulation started running at 65 °C ambient temperature, the supplied voltage from the MXS-60 panel to the buck converter was 16,65 V. The system showed a good response regarding tracking the 8 V desired voltage. Decreasing the temperature down to 50 °C, the MXS-60 supplied voltage immediately reacted to that change and became 17,85 V, according to the reverse relationship between them. 40 V

When the temperature is decreased to 25 °C, the panel supplied voltage reached to 19,9 V. At the temperature decrease point, the actual voltage went up with a huge jump compared to other fluctuations. Because the system previously was stabilized with a specific duty cycle, then as the input voltage went up, due to decreasing the temperature, the high duty cycle of the previous step with this updated input voltage value led to that unusual jump. As time goes on, the PI algorithm shows itself and restrain the duty cycle to new smaller one.

Depicted the case of exposing the system to varying irradiation under 65 °C and 8 V desired voltage. The process has started with $320 \frac{W}{m^2}$ incident irradiation, and the input voltage reached up to 15,85 V. The direct proportional relationship has appeared clearly as the irradiation reached to $520 \frac{W}{m^2}$ pushing the MSX-60 supply voltage to be 16,8 V. An excellent voltage tracking has been shown to disturb the system by manipulating the irradiation up to $1000 \frac{W}{m^2}$ by decreasing the duty cycle value, and hence the system keeps tracking the desired voltage.

It is highly important to mention about the number of fluctuations in each square of the time axis, there are five mini- swings. These fluctuations per 250 ms explained as the sampling time was 50 ms, so for each unique 50 ms there must be an output duty cycle value transmitted from the PWM pin. In other words, there is an output voltage value each 50 ms. So, with a 250 ms time scale, it should contain the required number of fluctuations.

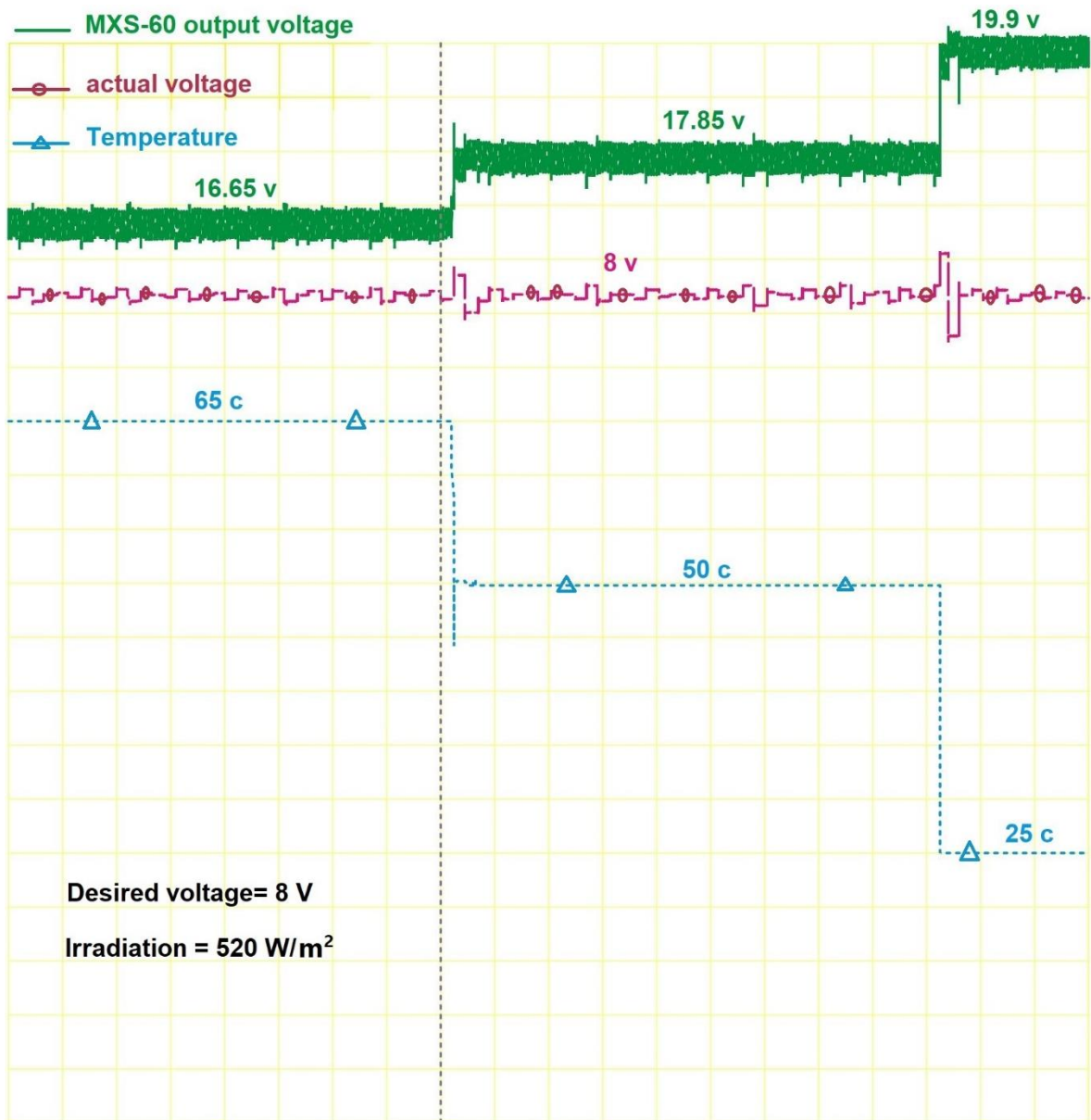


Irradiation = 520 W/m²

Temperature = 65 c

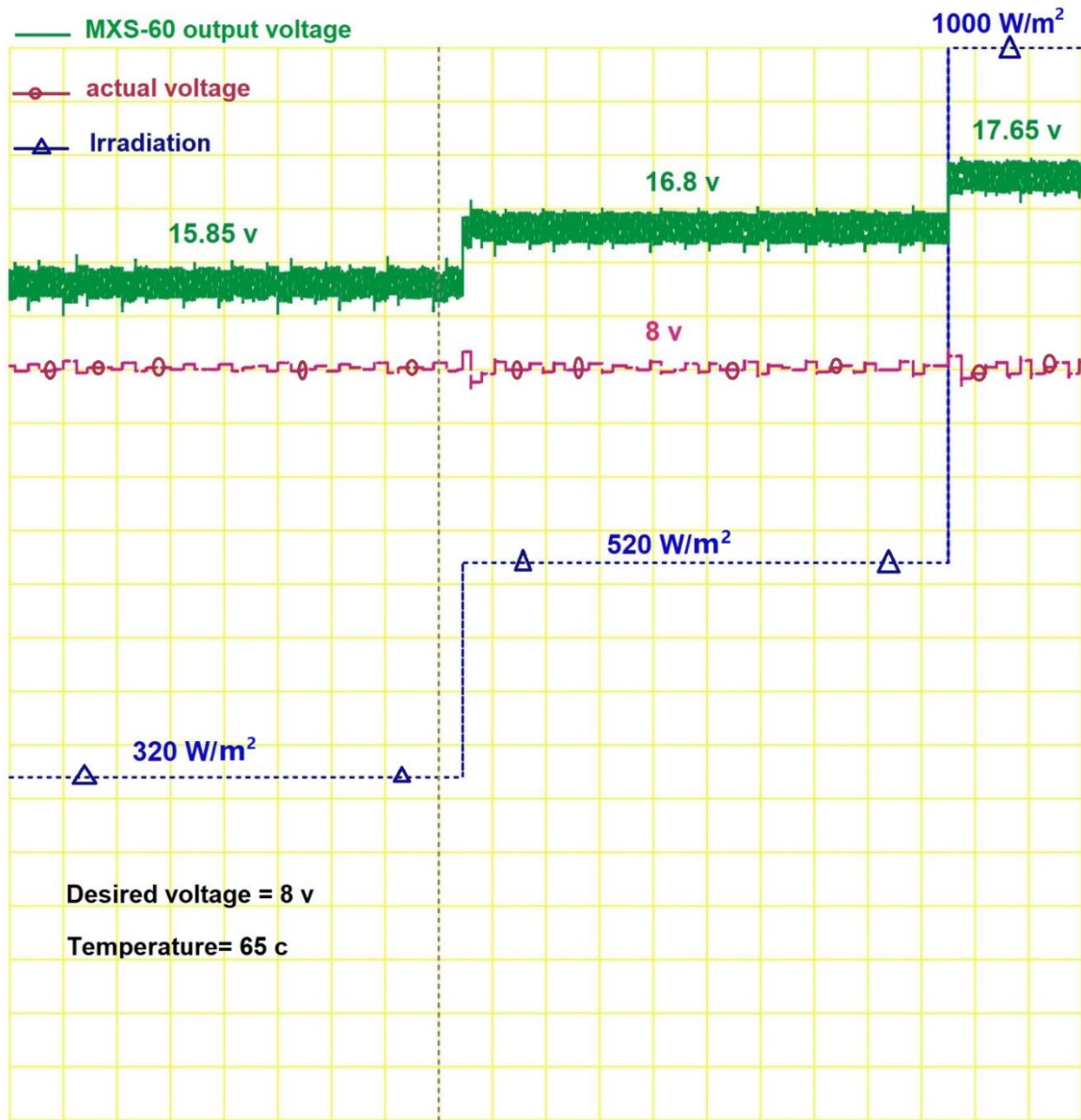
	Channel A	Channel B	Channel C	Channel D
V/Div	50.00 V	10.00 V	1.50 V	295.00 mV
Offset	-1000.00 V	0.00 V	0.00 V	0.00 V
Invert	Normal	Normal	Normal	Normal
Coupling	Off	Off	DC	DC
Source	Horizontal		Trigger	
Position	Trace		Channel A	
S/Div	2.00 S		Level -200.00 V	
			Coupling DC	
			Edge Rising	
			Mode Auto	

Figure 18. Effect of manipulating the desired voltage on the output voltage and the duty cycle, under 520 w/m² and T=65 °C.



	Channel A	Channel B	Channel C	Channel D
V/Div	50.00 V	5.00 V	1.50 V	1.00 V
Offset	-1000.00 V	-100.00 V	0.00 V	-20.00 V
Invert	Normal	Normal	Normal	Normal
Coupling	Off	DC	DC	DC
Source	Horizontal		Trigger	
Position	Trace		Channel A	
S/Div	2.00 S		Level -200.00 V	
	250.00 mS		Coupling DC	
			Edge Rising	
			Mode Auto	

Figure 19. Effect of changing the temperature on the PV voltage and the actual voltage under 520 W/m² and 8 V desire voltage.



	Channel A	Channel B	Channel C	Channel D
V/Div	50.00 V	50.00 V	1.50 V	1.00 V
Offset	-1000.00 V	-1000.00 V	-3.90 V	-20.00 V
Invert	Normal	Normal	Normal	Normal
Coupling	Off	DC	DC	DC
Source	Horizontal		Trigger	
Position	Trace		Channel A	
S/Div	2.00 S		Level -200.00 V	
	250.00 mS		Coupling DC	
			Edge Rising	
			Mode Auto	

Figure 20. Effect of changing the irradiation on PV input voltage and the actual output voltage under 65 °C, and 8 v desire voltage.

4. Conclusion and Future Work

This paper presents a new implementation approach for PV tracking algorithm developed with both Proteus and MikroC software. It consists of mainly two parts: the first part is building a PV solar device in Proteus, which is new and has been proven by comparing the IV and PV characteristics' outcomes and the results from the MSX_60 datasheet. The second part is building the proposed algorithm in MikroC then using this PV to implement a PI controller to maintain the output voltage of the step-down converter constant during different weather conditions with the ability to modify the desired output voltage. Designing and implementing the discrete control tracking algorithm resulted in compatible system capable of working with the PIC18F4580 microcontroller from scratch. The validity of the proposed PV tracking technique has been proved with a perfect response time, and the results have been discussed in detail. It is possible to simulate a PV system with a bare current source representing the I_{ph} , and some blocks to emulate the Shockley diode equation and two resistances. This method allows the user to simulate various PV modules in platforms that don't support the PV cell. Simulink part showed a great potential to change temperature and irradiance at any time while running the program. In addition to that, by testing the proposed module with a voltage tracking algorithm, the system showed perfect response concerning temperature and irradiation changes. The presented simulator is composed of: building the PV panel model and testing it, designing DC-DC step-down converter with its accessories to trigger the switching mode, a voltage sensor to feed the voltage back into the proposed algorithm, an LCD screen, a PIC18F4580 microcontroller, a keypad for opting and modifying the desired input voltage, and implementing various mapping processes between adjacent inconsistent parts. This work would have a crucial role for researchers to simulate other panels in different circuit platforms, and to simplify the implementation of a wide range of applications and algorithms related to PV connection with many electrical applications. To reach the optimum design points, it is recommended to use some MCU that supports high bit resolution and use the transfer function provided in the literature of buck converter fed from PV cell. This transfer function describes precisely the relationship between the duty cycle and the output voltage of the load. This proposed work includes:

1. Using the C2d MATLAB function to convert the transfer function domain from the continuous to the discrete one with a predefined sampling time, depending on the coding algorithm and the designing requirements.
2. Importing the discrete transfer function with a close loop via the help of the MATLAB tuning tool in MATLAB Simulink to obtain the optimum PI parameters.
3. Using the same proposed tracking algorithm with the upgrading PI parameter would push the system to be more stable and to optimize the tracking path.

It is also possible to use platforms such as LabVIEW to help the user to reach the optimum PI parameter with the use of system identification. In this way, the researcher would be able to overcome

the analytical barriers associated with the assumptions in deriving the transfer function, such as omitting and approximating processes.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest

Author Contributions

Writing—original draft preparation and software done by Mustafa HASAN; project administration, supervision, writing -review and editing done by Serra ALTINOLUK.

Nomenclatures

E_g :is the band gap energy of the semiconductor

G : the surface irradiance of the cell

G_{STC} : the irradiance under STC (=1000 W/m²)

$I_{s(STC)}$: the nominal saturation current;

$I_{sc(STC)}$: the short circuit current per cell at T_{STC}

K_B : the Boltzmann's constant;

K_i :the temperature coefficient of short circuit current

K_v : the temperature coefficient of open-circuit voltage

n : the diode ideality factor; STC is standard test conditions ($T_{STC} = 25C$)

T : the absolute temperature in K

I_{ph} : the light generated current

I_s : the saturation or leakage current of the diode

N_s : the number of cells in series for a PV module

N_p : the number of parallel modules

V_{OC} : the open-circuit voltage

R_s : series resistances of the solar cell

R_{sh} : parallel resistances of the solar cell

I_D : diode current or dark current.

Abbreviations

PWM: Pulse with Modulation

STC: Standard Test Conditions

TF: Transfer Function

LCD: Liquid Crystal Display

CCP: Capture/Compare/PWM

ADC: Analog Digital Converting

TMR0L: Timer0 Register Low Byte
TMR0H: Timer0 Register High Byte
T0CON: Timer0 control Register Byte

References

- Akcan E., Kuncan M., Minaz MR. Modeling and simulation of 30 kw grid-connected photovoltaic system with PVsyst software. *European Journal of Science and Technology* 2020; 18: 248-261.
- Ayim Otu B., Kuncan M., Horoz S. Research on renewable energy (solar) in Ghana. *International Science and Engineering Symposium*, 2019, Siirt, Turkey.
- Bulut N., Kuncan M., Horoz S. Usage areas of solar energy in Turkey and solar energy potential in Siirt. *Ahtamara 1st International Multidisciplinary Studies Congress Proceedings Book*, August 2018, 1315-1319; Van, Turkey.
- Chalh A., El Hammoumi A., Motahhir S., El Ghzizal A., Subramaniam U., Derouich A. Trusted simulation using proteus model for a PV system: Test case of an improved HC MPPT algorithm. *Energies* 2020; 13(8): 1943.
- Çiftçi S., Solak M., Kuncan M. Powered by the sun: designing and analyzing technical and economic aspects of a school sustained by photovoltaics. *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering* 2020; 1(1): 21-32.
- Doubabi H., Chennani M., Essounbouli N. Modeling and design of synchronous buck converter for solar-powered refrigerator. *Proceedings of 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 4-7 December 2017, 1-5; Tangier, Morocco.
- Erdoğan Y., Dinçler T., Kuncan M., Ertunç HM. High efficiency maximum power point tracker (MPPT) design for solar panels. *Turkish Automatic Control Meeting, TOK*, 2014; 1055-1060.
- El Tayyan Ahmed A. A simple method to extract the parameters of the single-diode model of a PV system. *Turkish Journal of Physics* 2013; 37(1): 121-131.
- Ergin Şahin M. Photovoltaic powered electrolysis converter system with maximum power point tracking control. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(16): 9293-9304.
- Geethanjali MN., Sidram MH. Performance evaluation and hardware implementation of MPPT based photovoltaic system using DC-DC converters. *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Technological Advancements in Power and Energy: Exploring Energy Solutions for an Intelligent Power Grid (TAP Energy)*, 21-23 December 2017, 1-6; Kollam, India.
- Ghani ZA., Kamit K., Zeain MY., Zakaria Z., Azidin FA., Hadi NAA., Isira ASM., Othman H., Lago H. Development of a dc to dc buck converter for photovoltaic application utilizing peripheral interface controller. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* 2019, 14(7): 1317-1324.

- Kandilli İ., Minaz MR., Kuncan M., Kuncan F. Design of cooling and heating system in cars with solar energy. *International Conference on Multidisciplinary Science Engineering and Technology (IMESET'17)* ,October 2017, 365-370; Bitlis, Turkey.
- Loba TH., Salim KM. Design and implementation of a micro-inverter for single PV panel based solar home system. In *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, 17-18 May 2013, 1-5; Dhaka, Bangladesh.
- Luque A., Hegedus S. *Handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons; 2011.
- Microchip. PIC18F2480/2580/4480/4580 Datasheet. Microchip 2007.
- Motahhir S., Chalh A., Ghzizal A., Sebti S., Derouich A. Modeling of photovoltaic panel by using proteus. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 2017; 10(2): 8-13.
- Motahhir S., Chalh A., El Ghzizal A., Derouich A. Development of a low-cost PV system using an improved INC algorithm and a PV panel Proteus model. *Journal of Cleaner Production* 2018; 204: 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.246>
- Motahhr S., El Ghzizal A., Sebti S., Derouich A. Une ressource pédagogique pour l'enseignement par simulation : cas des panneaux photovoltaïques. *Int Work Pedagog Approaches E-Learning* 2015.
- Mustafa RJ., Gomaa MR., Al-Dhaifallah M., Rezk H. Environmental impacts on the performance of solar photovoltaic systems. *Sustain* 2020; 12(2): 608.
- Orioli A. An accurate one-diode model suited to represent the current-voltage characteristics of crystalline and thin-film photovoltaic modules. *Renewable Energy* 2020; 145: 725-743.
- Pal D., Koniki H., Bajpai P. Central and micro inverters for solar photovoltaic integration in AC grid. In *2016 National Power Systems Conference (NPSC)*, 19-21 Dec 2016, 1-6; Bhubaneswar, India.
- Rashid MH. *Power electronics handbook*. Butterworth-Heinemann; 2017.
- Salman S., Ai X., Wu Z. Design of a P-&O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system. *Protection and Control of Modern Power Systems* 2018; 3(1): 1-8.
- Suroso Winasis, P., Purnama ID. Design of 1 kW buck-boost chopper with pi control for photovoltaic power conversion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1 December 2020; 982(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012022>
- Wang Y., Kamari ML., Haghghat S., Ngo PT. Electrical and thermal analyses of solar PV module by considering realistic working conditions. *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry* 2021; 144(5): 1925-1934.
- Yaqoob SJ., Obed AA. Modeling, simulation and implementation of PV system by proteus based on two-diode model. *Journal of Techniques* 2019; 1(1): 39-51.
- Zekry A., Shaker A., Salem M. Solar cells and arrays: principles, analysis, and design. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* 2018: 3-56.
- Zhou Z., Macaulay J. An emulated pv source based on an unilluminated solar panel and dc power supply. *Energies* 2017; 10(12): 2075.

The Effect of the Ring Spinning Machine Top Drafting Roller Hardness and the Fiber Blend Ratio on the Quality of Yarn

Halil İbrahim ERŞAHİN^{1*}, Yasemin KORKMAZ²

^{1,2}Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, 46010, Kahramanmaraş, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0002-5932-382X>

²<https://orcid.org/0000-0002-0030-6259>

*Corresponding author: halilibo2787@gmail.com

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 15.12.2021

Accepted: 28.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Yarn spinning
Roller hardness
Yarn quality
Draft
Unevenness
Strength

In the ring-spinning machine, where the fibers are transformed from roving form into yarn, a higher draft is applied when compared to the draw frame and roving frame. Controlled transfer of fibers exposed to this draft is important in terms of reducing draft irregularities. For this purpose, the effect of changing the roller hardness on the yarn quality was investigated. Two different experimental factors were chosen to investigate: the effect of roller hardness and fiber type on yarn quality. The first factor was the top roller hardness at three different lower levels, 70, 76 and 83 Shore (A). The second factor, the fiber type, had two levels as acrylic and acrylic-cotton. In this context, two different Ne 20/1 100% acrylic and Ne 20/1 50-50% cotton-acrylic yarns had produced. Unevenness, thin/thick place, neps, hairiness and strength tests had carried out on the spun yarns. When the results obtained were examined, it was determined that acrylic blended yarns had better unevenness values and more strength than cotton-acrylic blended yarns. As a result of this study, it was found that the roller hardness was a parameter affecting fiber transfer, the upper roller hardness and the fiber type affected the yarn quality.

Ring İplik Makinesinde Manşon (Üst Silindir) Sertliğinin Farklı Elyaf Karışımlarında Üretilmiş İplik Kalitesine Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 15.12.2021

Kabul tarihi: 28.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İplik eğirme
Manşon sertliği
İplik kalitesi
Mukavemet
Çekim
Düzgünsüzlük

Liflerin fitil formundan ipliğe dönüştürüldüğü ring iplik makinasında, cer ve fitil makinasına göre daha yüksek çekim uygulanır. Bu çekime maruz kalan liflerin kontrollü transferi çekim düzensizliklerinin azaltılması açısından önemlidir. Bu amaçla silindir sertliğinin değiştirilmesinin iplik kalitesine etkisi araştırılmıştır. Silindir sertliği ve elyaf tipinin iplik kalitesi üzerindeki etkisini araştırmak için iki farklı deneysel faktör seçilmiştir. İlk faktör, 70, 76 ve 83 Shore (A) olmak üzere üç farklı alt seviyedeki üst silindir sertliğiydi. İkinci faktör olan elyaf türü, akrilik ve akrilik/pamuk olmak üzere iki seviyeye sahipti. Bu kapsamda iki farklı Ne 20/1 100% akrilik ve Ne 20/1 50-50% pamuk-akrilik iplik üretildi. Eğrilen iplikler üzerinde pürüzlülük, ince/kalın yer, neps, tüylülük ve mukavemet testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, akrilik karışımı ipliklerin, pamuk/akrilik karışımı ipliklere göre daha iyi düzgünsüzlük değerlerine ve daha fazla mukavemete sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışma sonucunda merdane sertliğinin elyaf transferini etkileyen bir parametre olduğu, ön üst silindir sertliğinin ve elyaf tipinin iplik kalitesini etkilediği tespit edilmiştir.

To Cite: Erşahin Hİ., Korkmaz Y. The Effect of the Ring Spinning Machine Top Drafting Roller Hardness and the Fiber Blend Ratio on the Quality of Yarn. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1274-1281.

1. Introduction

Many methods have been developed for short fiber spinning from past to present, and in this context, ring spinning has been the most preferred short fiber yarn production method. The conventional ring spinning technique, which constitutes approximately 80-90% of the spinning machines in the global market, is the first spinning technique that actually works according to the real twist principle. The yarn industry of the early 1900s, which considered the success as the producing the target yarn count only, now attempts to incorporate many desired features in the yarn with the help of the technological progress it has today.

Many of the studies on ring spinning so far had focused on drafting roller properties. The effect of front and rear top drafting roller diameters on carded ring yarn quality was investigated and reported that various types of top front roller coatings could affect the final yarn quality significantly (Zeybek, 2020;2). Besides, the fiber type, yarn count, usage area of the yarn, machine construction and the quality control tests carried out in the factories play an important role in the selection of the upper front roller coatings (Akbar et al., 2017). In another study, the effects of traveler, upper front roller and clip types on various ring yarn properties were investigated. It has been found that the components of the drafting process, especially the top rollers and the clip, have a significant impact on yarn quality and production costs in ring spinning (Kahraman, 1999).

Another key factor is determining which fibers used in the yarn blend to obtain multiple properties in the same structure. These properties can be physical, structural and easy-to-process features. In addition, the fibers can be mixed for better quality, further cost-effectiveness and improved appearance. These blends can be formed as natural-natural, synthetic-synthetic or natural-synthetic fibers in which the disadvantages of synthetic fibers can be reduced by using the advantages of natural fibers.

The aim of this study is to investigate the effects of top roller stiffness on the quality of 100% acrylic and 50-50% cotton-acrylic ring yarns in order to improve yarn quality by changing top roller hardness.

2. Material and Methods

2.1. Material

In this study, the effect of the three different top roller hardness on the quality parameters of the yarn produced from two different raw materials as 100% acrylic 50-50% cotton-acrylic and fibers was investigated. In total, six different yarn samples (3 roller hardness levels x 2 fiber raw material levels) were spun and tested. The materials used in this study are acrylic fiber, 40 mm long and 1.3 dtex thin, Dralon brand. HVI properties of cotton fiber obtained from Şanhurfa region are given in Table 1.

Table 1. HVI properties of the cotton fiber

Fiber Property		Value
Micronaire	MIC	4.90 mic
Spinning Consistency Index	SCI	157
Maturity	Mat	%0.87
Upper Half Mean Length	UHML/Len	29.02 mm
Uniformity Index	UI	%85.5
Reflectance	Rd	71.6
Yellowness	+b	9.6
Color Grade	C Grd	42-1
Trash Count	Tr Cnt	115
Short Fiber	SF	%5.7
Strength	Str	36.7 g/tex
Elongation	Elg	%7.2

The twist levels of Ne 0.65 rovings were 26 T/m for 100% acrylic, 30 T/m for 50-50% cotton-acrylic blends. The unevenness values of both rovings are given in Table 2, and the production parameters of the ring-spinning machine are given in Table 3.

Table 2. Unevenness values of the rovings

Fiber composition	U (%)	CVm	CV 1m	CV 3m
100% acrylic	2.84	3.56	1.21	0.5
50-50% cotton-acrylic	4.01	5.03	1.34	0.7

Table 3. The production parameters of the ring-spinning machine

	100% acrylic	50-50% cotton-acrylic
Yarn count (Ne)	Ne 20/1	Ne 20/1
Twist (T/m)	515	600
Twist coefficient (αe)	2.92	3.40
Spindle speed (rpm)	15500	15500

2.2. Method

The yarns samples were produced by using Zinser RM 351 Ring spinning machine at Bulut Tekstil San. ve Tic. Ltd. Şti. in Gaziantep (Fig. 1). The spinning machine had a back roller diameter of 27 mm, a middle roller diameter of 30.5 mm and a front roller diameter of 27 mm. The setting distances in the break and the main drafting zones were chosen as 65 and 44.5 mm, respectively (Schlafhorst, 2002). The break draw ratio was selected as 1.17.



Figure 1. Zinser RM 351 ring yarn spinning machine

The roller hardness were manufactured between 66-85 Shore in short fiber spinning (Saurer Group Company, 2013). For this reason, 3 different hardness levels were selected as 70, 76 and 83 Shore ($^{\circ}$ A) in 19 mm inner diameter, 30 mm outer diameter and 28 mm width dimensions. The top rollers and their coatings used in this research were produced by Bulut Tekstil (Figs. 2, 3 and 4.).



Figure 2. The green (Shore 70) roller



Figure 3. The blue (Shore 76) roller



Figure 4. The grey (Shore 83) roller

In order to avoid machine-induced differences, all the sample productions were spun on the same spindle with the same pressure arm and the drafting rollers. The experimental plan is given in Table 4. Then the sample yarns were tested at Uster Tester 4SE unevenness tester and Uster Tensorapid strength tester equipment in the quality control testing lab.

Table 4. Experimental plan

Experiment No	Fiber Type	Top Roller Hardness
1	100% acrylic	70
2	100% acrylic	76
3	100% acrylic	83
4	50-50% cotton-acrylic	70
5	50-50% cotton-acrylic	76
6	50-50% cotton-acrylic	83

3. Results and Discussion

In this study, the effects of 70, 76, 83 Shore top roller hardness on the quality of 100% acrylic and 50-50% cotton-acrylic ring spun yarns were investigated. When the results were analyzed, the top roller hardness had a linear increasing effect with yarn unevenness for 100% acrylic yarns (Table 5). The highest unevenness values of 100% acrylic yarns produced with gray roller coating, which is the hardest among the coatings used, were determined as 83 Shore.

This was followed by the blue roller with 76 Shore and then the green roller with 70 Shore. However, the highest unevenness value was measured at 76 Shore, followed by 83 Shore hardness for 50-50% cotton-acrylic yarn.

Table 5. Physical properties of the yarn samples spun with different top roller shore values

	100% acrylic			50-50% cotton-acrylic		
	70 Shore	76 Shore	83 Shore	70 Shore	76 Shore	83 Shore
U	8.01	8.24	8.7	8.86	9.3	8.51
-50	0	0	0	0	0.5	1
+35	13	15	32	166	233	284
+50	1	1	1.5	24	28	36
+200	0.5	1.5	0.5	44	54	60
Hairiness	8.49	8.47	8.61	7.02	7.34	7.2
RKM	21.18	21.01	20.46	13.17	12.63	12.95

While the +35% thick place values of the 100% acrylic yarns produced with 70-76-83 Shore cots increase with hardness, -50% thin place, +50% thick place and +200% nep values were measured

close to zero. However, 50-50% cotton-acrylic blends compared to pure acrylic yarns had much higher values as seen in Figures 5 and 6. In addition, -50, +35 and +50 imperfection values were found to be highest for roller with the hardest surface of 83 Shore for 50-50% cotton-acrylic blends.

Despite of no neps in 100% acrylic yarn, there were significant nep values in cotton blended yarn. The effects of hardness became significant for cotton-acrylic blend yarn where the harder the surface, the higher the nep number (Fig 6). However, the hairiness values higher for acrylic yarns compared with cotton-acrylic blend yarn may be caused by lower twist level.

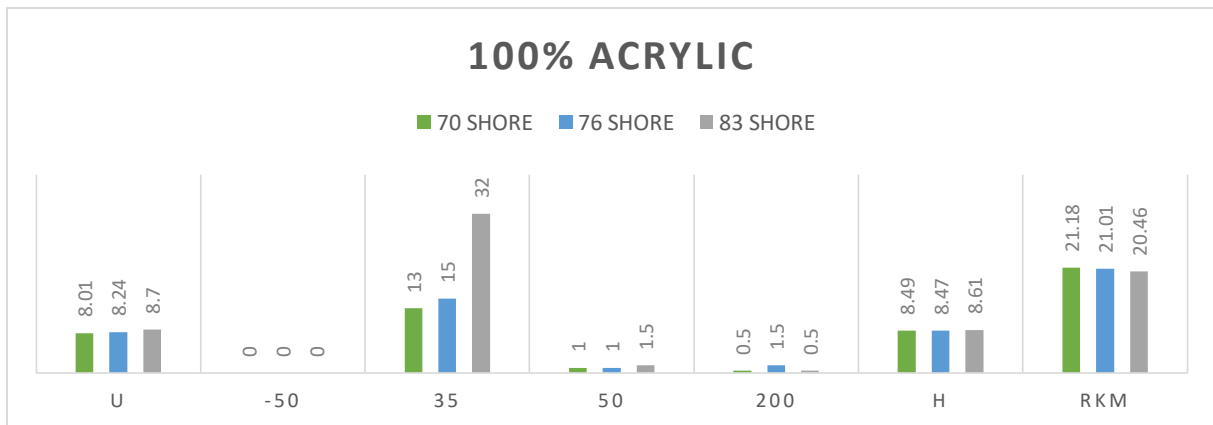


Figure 5. Unevenness and strength values of acrylic yarn

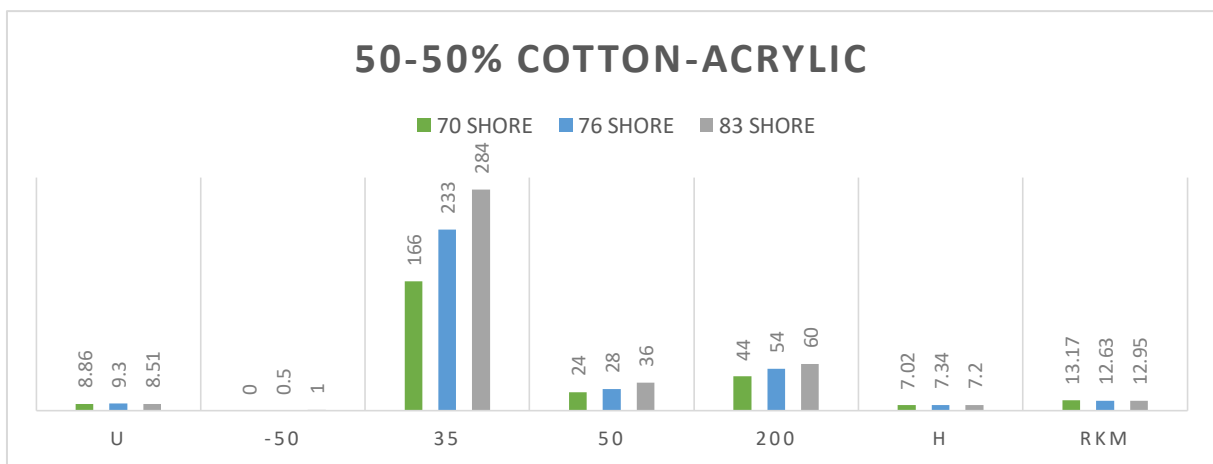


Figure 6. Unevenness and strength values of 50-50% cotton-acrylic yarn

Although 100% acrylic yarn had lower twist level, the strength of 100% acrylic yarn was measured around 21 RKM, while cotton-acrylic blended yarn had approximately 13 RKM. The strength and unevenness had similar behavior indicating that acrylic fibers were transferred more evenly and regularly between the drafting zones than fibers in cotton-acrylic blend. The softest 70 Shore green top roller exhibited the highest strength because the fibers could become more arranged and parallel to be as they pass through the draft zone.

The ring spinning machine, in which the fibers are converted from roving form to yarn, applies higher draft than the draw frame and roving frame. The controlled application of this high amount of draft

significantly affects the quality of the yarn to be produced (Çolak, 2020; Akbar et al, 2017). In our study, It was determined that the roller surface hardness affected the arrangement of the fiber bundles in the drafting region. Besides differences between properties of cotton and acrylic fibers such as length, fineness, surface friction, cohesion etc. change fiber transferring behavior in the drafting zone.

4. Conclusion

The top roller types of the ring-spinning machine drafting system can cause very different effects on the yarn. Most of the studies on ring spinning systems so far have focused on top roller covering hardness of the drafting system. In this study, interaction between top roller hardness and yarn structures on quality parameters were investigated. From the data set obtained under completely controlled conditions the hardness of the top roller was one of the parameters that effect the fiber traction in the drafting zone. Therefore, fiber type, final yarn count and the operating conditions play an extremely important role in determining the type of top roller covering. Considering these factors, selection should be made according to the hardness and type of the top roller covering.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Akbar AR., Zeshan M., Neaz M., Cai Y., Lin L. Effect of ring machine front roller rubber cot hardness on properties of coarser yarn. MATEC Web of Conferences 2017; 130(2): 278-291.
- Çolak SS. Kesikli akrilik lif ve karışımli ipliklerin üretim parametrelerinin iplik ve kumaş özelliklerine etkisi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, Türkiye, 2020.
- Erkan M. Pamuk lifi ile uyumlu sentetik lif karışımlarından iplik ve kumaş üretilip özelliklerinin karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, Türkiye, 2013.
- Kahraman Ş. Ring iplik makinalarında bazı üretim parametrelerinin iplik özelliklerine etkilerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, Türkiye, 1999.
- Mangut M., Karahan N. Doğal lifler. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları; 2017.
- Schlafhorst S., Zinser RM 351 ring iplik eğirme makinesi el kitabı. Schlafhorst Sourer. Almanya, 2002; 1p.
- Saurer Group Company, Zinser 350/450 El kitabı. DocID: D-999.08.0497. İsviçre, 2013; 22-25.
- Saurer Saurer Spinning Solutions GmbH & Co. KG. Schlafhors Zinser Müşteri Dergisi 2018.

https://schlafhorst.saurer.com/fileadmin/Schlafhorst/pdf/express/SHS18031_Express_1_18

(Erişim Tarihi: 04.06.2021)

Zeybek A. Ön ve arka manşon çapı farklılıklarının karde ring iplik kalite parametreleri üzerine etkisi.

Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi 2020; 2(2): 380-400.

Damızlık Japon Bildircin (*Coturnix coturnix Japonica*) Rasyonlarına Maca (*Lepidium meyenii*) Tozu İlavesinin Performans, Yumurta Kalitesi ve Kuluçka Parametrelerine Etkisi

Seyit Ahmet GÖKMEN¹, Behlül SEVİM^{2*}, Osman OLGUN³

¹Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Konya

²Aksaray Üniversitesi Eski Meslek Yüksek Okulu, Eski-Aksaray

³Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0003-2309-2473>

²<https://orcid.org/0000-0003-2996-3241>

³<https://orcid.org/0000-0002-3732-1137>

*Sorumlu yazar: behluls68@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.12.2021

Kabul tarihi: 04.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Maca tozu

Bildircin

Yumurta kalitesi

Kuluçka

Performans

ÖZ

Bu çalışma damızlık Japon bildircin rasyonlarına maca tozu ilavesinin performans, yumurta iç ve dış kalite ve bazı kuluçka özellikleri üzerine etkilerini tespit etmek için yürütülmüştür. Araştırmada 18 haftalık yaştaki 120 adet (80 dişi, 40 erkek) damızlık Japon bildircini kullanılmıştır. Bildircinler dört farklı seviyede maca tozu (0, 1, 2 ve 4 g/kg) içeren muamele grubu ve her muamele için beş tekerrür olmak üzere toplam 20 alt gruba rastgele dağıtılmıştır. Araştırma sonunda rasyona 1 g/kg maca tozu ilavesiyle yumurta kabuk kırılma direnci ($P<0.05$) ve kabuk oranı ($P<0.01$); 4 g/kg maca tozu ilavesiyle ise Haugh birimi önemli derecede artmıştır ($P<0.05$). Ancak rasyona farklı seviyelerde maca tozu ilavesi damızlık bildircinlerde performans ve kuluçka parametrelerini etkilememiştir ($P>0.05$). Bu çalışmanın sonuçlarına göre, damızlık bildircin rasyonlarına maca tozunun, performans ve kuluçka parametrelerini etkilemeksizin kabuk kalitesini iyileştirmek amacıyla 1 g/kg seviyesinde, Haugh birimini iyileştirmek için ise 4 g/kg seviyesinde ilave edilebileceği tespit edilmiştir.

Effect of Maca Powder Addition to Japanese Breeder Quail Diets on Performance, Egg Quality and Hatch Parameters

Research Article

Article History:

Received: 29.12.2021

Accepted: 04.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Maca powder

Quail

Egg quality

Hatching

Performance

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effects of addition maca powder to breeder Japanese quail diets on performance, egg quality and some hatchability properties. In the study, 120 breeding Japanese quails (80 females, 40 males) at the age of 18 weeks were used. The quails were randomly distributed to including 20 subgroups that five replications for each treatment and that 4 treatment groups its containing different levels of maca powder (0, 1, 2 and 4 g/kg). At the end of study, eggshell breaking strenght ($P<0.05$) and eggshell ratio ($P<0.01$) with the addition of 1 g/kg maca powder to the diet; The Haugh unit with the addition of 4 g/kg of maca powder increased significantly ($P<0.05$). However, the addition of different levels of maca powder to the diet did not affect performance and hatchability parameters in breeding quails ($P>0.05$). According to the results of this study, it has been detected that maca powder can be added to breeder quail rations at the level of 1 g/kg to improve the shell quality and 4 g/kg to improve the Haugh unit without affecting the performance and hatchability parameters.

To Cite: Gökmen SA., Sevım B., Olgun O. Damızlık Japon Bildircin (*Coturnix coturnix Japonica*) Rasyonlarına Maca (*Lepidium meyenii*) Tozu İlavesinin Performans, Yumurta Kalitesi ve Kuluçka Parametrelerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1282-1292.

Giriş

Damızlık kümes hayvanları yetiştirmenin amacı, maksimum sayıda yumurta veya civciv temini ve buna müteakiben iyi bir büyüme performansına sahip civciv elde etmektir. Genetik yapı, yaş, verim seviyesi, tür gerek kümeste ve gerekse kuluçka makinesindeki çevre şartları ve rasyonun kompozisyonu gibi birçok faktör damızlık kümes hayvanlarının performansını, kabuk kalitesini, üreme performansını ve civcivin hem embriyonik ve hem de çıkış sonrası gelişimini etkilemektedir (Larbier ve Leclercq, 1994). Özellikle son yıllarda üremedeki yararlılıkları nedeniyle kimyasal antioksidanlar olarak hem doğal hem de sentetik ürünler dikkat çekmektedir (Agarwal ve Prakaran, 2005). Antioksidan aktiviteye sahip olduğu bilinen bitkilerden birisi de macadır (Korkmaz, 2018).

Lepidium meyenii Walp., daha yaygın kullanılan adı ile maca, yetiştiriciliği 16. yüzyıla kadar dayanan (Leon, 1964), Peru'nun merkezindeki And Dağları'nda 3700-4500 m yükseklikte bulunan Brassicaceae familyasından otsu bir bitkidir (Dini ve ark., 1994). İçerdiği besin maddeleri ve metabolitler yetiştiği bölgelere göre varyasyon göstermekle birlikte protein, ham yağ, esansiyel asitler ile mineraller (Chen ve ark., 2017) ve bunlara ilaveten glikozinolat, steroller, yağ asitleri veya bunların amidleri (macamides), alkaloidler ve polifenoller gibi farmakolojik bileşikler (Sifuentes-Penagos ve ark., 2015) bakımından zengindir. Macanın üreme hormonlarının seviyelerini değiştirmeden (Gonzales ve ark., 2005) fertilitite ve cinsel fonksiyonları iyileştirmekte, anti-osteoporoz ve yorgunluğu azaltıcı özellikleri ve diğer bazı fonksiyonları ile sağlık üzerine olumlu etkileri mevcuttur (Gonzales ve ark., 2014).

Literatürde rasyona maca ilavesinin kanatlılarda etkisini inceleyen yalnız bir çalışmaya rastlanmıştır. Yumurtacı tavuklarda yapılan bu çalışmada rayona maca ilavesinin yem tüketimi, yumurta verimi yumurta ağırlığı ve yem değerlendirme katsayısı gibi performans parametreleri ile kabuk kırılma direnci, kabuk kalınlığı, Haugh birimi gibi yumurta iç-dış kalite parametrelerine etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Korkmaz ve ark., 2016). Ancak maca ile dişi rat ve farelerde yapılan çalışmalar sonucunda progesteron seviyesini (Oshima ve ark., 2003; Meissner ve ark., 2006a), yavrulama sayısını (Ruiz-Luna ve ark., 2005), gebelik oranını (Pino-Figueroa ve Maher, 2009), östrus döngüsünü değiştirmeden (Gasco ve ark., 2008) lüteinleştirici hormon ve folikül stimüle edici hormon seviyesini artırdığı (Uchiyama ve ark., 2014) ve rahim ağırlığını yükselttiği (Ruiz-Luna ve ark., 2005; Barraza ve ark., 2015); serum hormon seviyesi (Meissner ve ark., 2006b; Wang ve ark., 2009) ve lipid seviyesini dengelediği (Barraza ve ark., 2015), menopoz semptomlarını hafiflettiği (Meissner ve ark., 2006b) gözlemlenmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmanın hipotezi maca tozunun içerdiği aktif maddeler ile performans ve yumurta kalitesi ile üreme özelliklerini iyileştirmesi sonucunda kuluçka parametrelerine olumlu etkilerinin olacağıdır. Bu amaçla mevcut çalışmada damızlık Japon bildircin rasyonlarına ilave edilen maca tozunun performans parametreleri, yumurta iç ve dış kalite ile bazı kuluçka özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Hayvan Materyali ve Muamele Rasyonları

Araştırmada 18 haftalık yaşta 80 dişi, 40 erkek olmak üzere toplam 120 adet damızlık Japon bildircını kullanılmıştır. Çalışma maca tozu içermeyen (kontrol) ve üç farklı seviyede maca tozu (1, 2 ve 4 g/kg) içeren muameleler ve her birinde beş tekerrür olmak üzere toplam 20 alt grupta tesadüf deneme parsellerine göre planlanmıştır. Kontrol rasyonu NRC (1994)'nin yumurtlayan bildircınlar için önerdiğine göre izokalorik ve izonitrojenik olarak (Tablo 1), muamele rasyonları kontrol rasyonuna 0, 1, 2 ve 4 g/kg maca tozu katılarak hazırlanmıştır. Bildircınlar çevre kontrollü kümesteki (23-25°C) kafeslerde (45 cm x 30 cm) beslenmiştir. 10 hafta süren deneme boyunca 16 saat/gün aydınlatma programı uygulanmış olup, su ve yem *ad libitum* olarak verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan bazal rasyonun hammadde ve hesaplanmış besin maddesi kompozisyonu

Hammadde	%	Besin madde kompozisyonu	%
Mısır	53,20	Metabolik enerji, kcal ME/kg	2902
Soya fasulyesi küspesi	28,70	Ham protein	20,01
Ayçiçeği tohumu küspesi	4,00	Kalsiyum	2,50
Buğday kepeği	2,00	Kullanılabilir fosfor	0,35
Ayçiçeği yağı	4,60	Lisin	1,01
Mermer tozu	5,60	Metiyonin	0,45
Dikalsiyum fosfat	1,14	Metiyonin+Sistin	0,82
Tuz	0,35		
Premiks ¹	0,25		
DL metiyonin	0,16		
Toplam	100,00		

¹Premiks 1 kg'ında; Manganez: 80 mg; Demir: 60 mg; Bakır: 5 mg; İyot, 1 mg; Selenyum: 0,15 mg; Vitamin A: 8.800 IU; Vitamin D₃: 2.200 IU; Vitamin E: 11 mg; Nikotinasit: 44 mg; Cal-D-Pan: 8,8 mg; Riboflavin: 4,4 mg; Tiamin: 2,5 mg; Vitamin B₁₂: 6,6 mg; Folik asit: 1 mg; Biotin: 0,11 mg; Kolin: 220 mg sağlar.

Performans Parametrelerinin Belirlenmesi

Deneme başlangıcı ve bitiminde bildircınlar grup olarak tartılmış ve canlı ağırlıkları belirlenmiştir. Deneme başı canlı ağırlığının bütün gruplara homojen olarak dağıtılmasına dikkat edilmiş ve her alt gruba 4 dişi iki erkek bildircın koyulmuştur. Elde edilen bu değerlerden canlı ağırlık değişimi (CAD) hesaplanmıştır. Deneme boyunca yumurtalar günlük olarak toplanmış ve kaydedilmiştir. Bu verilerden yüzde yumurta verimi (%) hesaplanmıştır. Çalışmanın son üç gününde bütün yumurtalar toplanmış ve

tartımı yapılarak yumurta ağırlığı bulunmuş ve yumurta kitlesi = (yumurta verimi (%) x yumurta ağırlığı)/100 formülüyle hesaplanmıştır. Çalışma süresince yemler bıldırcınlara gruplar şeklinde tartılarak verilmiştir. Çalışma sonunda kalan yemler verilen toplam yemden çıkarılarak bıldırcınların yem tüketimi g/bıldırcın/gün olarak hesaplanmıştır. Yem değerlendirme katsayısı yem tüketimi (g yem)/yumurta kitlesi (g yumurta) formülüyle hesaplanmıştır.

Yumurta Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi

Hasarlı yumurta oranı, araştırma boyunca toplanan hasarlı yumurtaların (kırık, çatlak, yumuşak kabuklu ve kabuksuz) toplam yumurta sayısına oranı şeklinde hesaplanmış ve yüzde olarak ifade edilmiştir. Yumurta iç ve dış kalite özelliklerini belirlemek üzere yapılan ölçümler, çalışmanın son iki gününde toplanan bütün yumurtalardan yapılmıştır. Yumurta kabuk kırılma direnci yumurtanın küt kısmına destek-sistemli basınç uygulanarak ölçülmüştür (Egg Force Reader, Orka Food Technology, Israel). Zarlı kabuk ağırlığı 0,01 g hassasiyetindeki dijital terazi ile tespit edilmiş ve kabuk oranı = (%) yumurta kabuk ağırlığı (g)/yumurta ağırlığı x 100 formülüyle kabuk oranı hesaplanmıştır. Zarlı kabuk kalınlığı 0,001 mm hassasiyetindeki mikrometre kullanılarak yumurtanın üç noktasından (ekvator, küt ve sivri kısımlar) ölçümle elde edilen değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Mitutoyo, 0,01 mm, Japan). Yumurtaların ak yüksekliği 0,01 mm hassasiyetindeki yükseklik mihengiri ile ak uzunluğu ve ak genişliği ise 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile ölçülmüş ve ak indeksi = (ak yüksekliği / (ak genişliği + ak uzunluğu)/2) x 100 formülüyle (Olgun ve ark., 2009) hesaplanmıştır. Yumurtaların sarı genişliği dijital kumpas ile sarı yüksekliği ise yükseklik mihengiri ile ölçülmüş ve sarı indeksi = sarı yüksekliği (mm)/sarı genişliği (mm) x 100 formülüyle (Olgun ve ark., 2009) hesaplanmıştır. Haugh birimi = $100 \times \log (\text{ak yüksekliği (mm)} + 7,57 - 1,7 \times \text{yumurta ağırlığı (g)}^{0.37})$ formülüyle (Haugh, 1937) hesaplanmıştır.

Kuluçka Parametrelerinin Belirlenmesi

Denemenin 65., 66. ve 67. günü bütün yumurtalar toplanmış ve bu yumurtalardan kuluçka parametreleri tespit edilmiştir. Kuluçka parametrelerinin tespiti için S.Ü. Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Kuluçka Laboratuvarında mevcut olan gelişim ve çıkış makineleri kullanılmış ve bu makinelerin sıcaklık ile nem değerleri sıra ile, 37,5-37,7 °C ile %55-60 nispi nem ve 35,2-36,1 °C ile %70-75 nispi nem sağlayacak şekilde ayarı yapılmıştır. Kuluçkanın 15. gününde yumurtalar gelişim makinesinden çıkış makinesine aktarılmış, 17. ve 18. günlerinde çıkan civcivlerin tartımı yapılarak civciv çıkış ağırlıkları bulunmuştur. Kuluçka sonunda civciv çıkışı olmayan tüm yumurtalar kırılarak döllülükleri belirlenmiş ve döllu yumurta oranı, döllu yumurtaların kuluçkaya konan yumurtalara oranının yüz ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Çıkış gücü, kuluçkadan çıkan toplam civciv sayısının, kuluçkaya konan döllu yumurta sayısına oranı şeklinde, kuluçka randımanı ise kuluçkadan çıkan civciv sayısının toplam yumurta sayısına oranı şeklinde hesaplanmıştır.

Çalışma sonunda elde edilen veriler istatistik paket programında (Minitab, 2000) one way prosedürü kullanılarak Anova'ya tabi tutulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan karşılaştırma testi (Duncan, 1955) kullanılarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Performans Parametreleri

Maca tozunun damızlık bıldırcınlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için yürütülen mevcut araştırmaya ait performans parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu ilavesi performans parametrelerini istatistikî olarak etkilememiştir ($P>0.05$).

Tablo 2. Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu ilavesinin performans parametrelerine etkisi

Maca tozu, (g/kg)	Canlı Ağırlık Değişimi*, g	Yumurta Verimi, %	Yumurta Ağırlığı**, g	Yumurta Kütlesi**, g/gün/bıldırcın	Yem Tüketimi, g/gün/bıldırcın	Yem
						Değerlendirme Katsayısı g yem/g yumurta kütlesi
0	20,42	91,42	12,83	11,73	28,13	2,40
1	17,83	91,79	12,65	11,64	27,90	2,42
2	13,93	90,71	12,65	11,47	28,22	2,46
4	16,66	91,34	13,12	11,99	28,28	2,37
Standart hata	3,346	2,485	0,218	0,433	0,623	0,064
Ortalaması						
P değeri	0,596	0,992	0,417	0,862	0,974	0,757

*: n değeri=24

**: n değeri=24

Literatürde maca tozunun kanatlı hayvanların performansı üzerindeki etkilerinin incelendiği tek çalışmada Korkmaz ve ark. (2016) mevcut araştırmadan tespit edilen sonuçlar ile benzerlik gösterebilecek şekilde yumurtacı tavuk rasyonlarına ilave edilen 5 ve 10 g/kg seviyesindeki maca tozunun canlı ağırlık değişimi, yumurta verimi, yumurta ağırlığı, yem tüketimi ve yem değerlendirme katsayısını etkilemediğini bildirmişlerdir. Maca tozunun kanatlı rasyonlarında kullanıldığı başka bir çalışma bulunmadığı için bünyesinde fenolik bileşikler barındıran diğer bitkisel kaynaklarla yapılan çalışmalar incelenmiştir. Moon ve ark. (2021) yumurtacı tavuk rasyonlarına %0,1 ve 0,3 fitojenik karışım ilave ettikleri çalışmada, muamelelerin yumurta verimi, yumurta ağırlığı, yumurta kütlesi ve yem değerlendirme oranını etkilemediğini ancak fitojenik karışımının konsantrasyonuna bağlı olarak yem tüketiminin arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yem tüketimindeki bu artışın karışımın aromatik özelliklerinden dolayı yemin lezzetini arttırmamasından kaynaklı olabileceğini belirtmişlerdir. Rasyona aromatik bitki ilavesinin kanatlı hayvanlarda canlı ağırlık değişimini, yumurta verimini, yumurta ağırlığını ve yumurta kütlesini etkilemediğini bildiren başka çalışmalar da mevcuttur (Buğdaycı ve ark., 2018; Vardar ve ark., 2020; Olgun ve ark., 2021). Ancak literatürde rasyona %0,05 bitkisel

ekstrakt ilavesinin yumurtacı tavuklarda (Dilawar ve ark., 2021), %0,25 ve %0,50 aromatik bitki tozu ilavesinin ise yumurtacı bıldırcınlarda (Abd El-Galil ve ark., 2015), yumurta ağırlığı, yumurta verimi ve yumurta kitlesini artırdığını bildiren çalışmalara da rastlanmıştır. Literatürdeki bu çalışmaların sonuçlarının farklı şekillerde olması çalışmada kullanılan hayvan materyalinin ya da ilave edilen katkı maddesinin farklı olmasından kaynaklı olabilir.

Yumurta Kalite Parametreleri

Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu eklenmesinin yumurta dış ve iç kalite özelliklerine olan etkisi Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu ilavesinin yumurta dış ve iç kalite parametreleri üzerine etkisi

Maca tozu, (g/kg)	Hasarlı Yumurta Oranı *, %	Kabuk Kırılma Direnci *, kg	Kabuk Oranı *, %	Kabuk Kalınlığı *, Mm	Ak İndeksi*, %	Sarı İndeksi*, %	Haugh Birimi*
0	0,30	1,33 ^b	7,56 ^B	0,196	9,35	46,4	87,91 ^b
1	0,39	1,55 ^a	8,14 ^A	0,202	10,01	48,2	89,31 ^{ab}
2	0,10	1,47 ^{ab}	7,83 ^{AB}	0,199	10,19	47,2	89,71 ^{ab}
4	0,00	1,44 ^{ab}	7,88 ^{AB}	0,204	10,48	46,8	90,94 ^a
Standart Hata Ortalaması	0,147	0,042	0,081	0,002	0,393	0,728	0,553
P-değeri	0,248	0,023	0,001	0,233	0,256	0,376	0,012

^{a,b}: Aynı satırda farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir (P<0,05).

^{A,B}: Aynı satırda farklı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak önemlidir (P<0,01).

*: n değeri=20

Kabuk kırılma direnci, kabuk oranı ve Haugh birimi dışındaki diğer yumurta kalite parametreleri muamelelerden etkilenmemiştir (P>0.05). Rasyona 1 g/kg maca tozu ilavesiyle yumurta kabuk kırılma direnci (P<0.05) ve kabuk oranı (P<0.01), 4 g/kg maca tozu ilavesiyle ise Haugh birimi (P<0.05) önemli derecede artmıştır. Yine yumurta kalite parametreleri üzerinde maca tozunun etkilerinin incelendiği araştırma sayısı da sınırlıdır. Sözü geçen parametreler üzerine literatürde rastladığımız tek çalışmada (Korkmaz ve ark., 2016) rasyona farklı seviyelerde (5 ve 10 g/kg) maca tozu ilavesinden elde edilen sonuçlar kabuk kalınlığı bakımından mevcut araştırmayla benzer olmakla birlikte kabuk kırılma direnci ve Haugh birimi bakımından elde edilen sonuçlar mevcut sonuçları desteklememektedir. Karakçı ve ark. (2022) yumurtacı bıldırcınlarda rasyona bitkisel ekstrakt ilavesinin Haugh birimi, ak indeksi ve kabuk kalınlığını artırırken kabuk kırılma direncini ve kabuk ağırlığını etkilemediğini, Tufarelli ve ark. (2021) ise yumurtacı tavuklarda rasyona aromatik bitki ilavesinin Haugh birimini etkilemeksizin kabuk kırılma direncini ve kabuk ağırlığını artırdığını bildirmişlerdir. Bununla beraber yumurtacı tavuklarda farklı aromatik bitkilerin karışımının kullanıldığı diğer bir çalışmada da muamelelerin Haugh birimi, sarı indeksi ve ak indeksini etkilemediği görülmüştür (Gümüş ve ark., 2018). Yumurta tavuklarında yapılan başka bir çalışmada (Vakili ve ark., 2016) rasyona bitkisel ekstrakt ilavesinin Haugh birimini arttırsa da kabuk ağırlığını etkilemediği kabuk kırılma direncinin ise bitkisel ekstrakt kaynağına göre değiştiği bildirilmiştir. Tıbbi bitkilerin biyoaktif maddesinin kanatlılarda magnum ve uterus hücrelerini koruma ve albümin

seviyesini artırma konusunda güçlü bir etkiye sahip olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Denli ve ark., 2004; Nadia ve ark., 2008; Damaziak ve ark., 2018). Ovomusin proteini, yumurta aklarında jöle benzeri bir yapıya neden olur (Leeson ve Summers, 2001), bu nedenle yüksek içeriği yumurta akı kalitesini ve dolayısıyla Haugh birimini artırır. Maca tozunun içerdiği fenolik bileşikler, magnum ve uterus hücrelerini koruyup yumurta üretim metabolizmasını olumlu yönde etkileyerek ovomusin protein sentezinin uyarılmasında rol oynamış ve dolayısıyla Haugh birimini artırmış olabilir. Fenolik bileşiklerin minerallerin emilimini arttırdığı bilinmektedir (Amad ve ark., 2011). Maca tozunun mineral emilimini arttırmasından dolayı mevcut çalışmada kabuk kalitesini arttırdığı söylenebilir.

Kuluçka Parametreleri

Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu ilavesinin kuluçka parametrelerine etkisi Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Damızlık bıldırcın rasyonlarına maca tozu ilavesinin kuluçka parametreleri üzerine etkisi

Maca tozu, (g/kg)	Döllülük Oranı*, %	Kuluçka Randımanı*, %	Çıkış Gücü*, %	Civciv Çıkış Ağırlığı*, g
0	96,52	92,20	95,68	8,71
1	96,36	96,36	100,00	8,18
2	100,00	90,51	90,51	8,22
4	100,00	96,67	96,67	8,44
Standart Hata	2,109	3,661	3,292	0,185
Ortalaması				
P-değeri	0,440	0,566	0,272	0,198

*: n değeri=20

Araştırma sonu itibariyle bıldırcın karma yemlerine farklı dozlarda ilave edilen maca tozunun kuluçka özelliklerinin tamamını istatistiki olarak önemli bir şekilde etkilemediği sonucuna varılmıştır ($P>0.05$). Literatürde maca tozunun kuluçka parametrelerine etkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Mevcut çalışma sonuçları ile benzerlik gösteren farklı aromatik bitkilerin kuluçka parametrelerine etkisinin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Damızlık bıldırcın rasyonlarına (Bayram ve ark., 2007; Vardar ve ark., 2020) ve damızlık broyler rasyonlarına (Kazemi ve ark., 2013) aromatik bitki ilavesinin kuluçka randımanını etkilemediği bildirilmiştir. Bununla beraber esansiyel yağların kanatlı rasyonlarına ilave edildiği çalışmalarda da muamelelerin döllu yumurtalardan çıkış gücünü etkilemediği görülmüştür (Bozkurt ve ark., 2009; Olgun ve Yıldız, 2014) ancak Bozkurt ve ark. (2009) rasyona esansiyel yağ ilavesi ile damızlık broylerlerde (24, 48 mg/kg) döllülük oranının, kuluçka randımanının ve civciv çıkış ağırlığının arttığını ve bu iyileşmenin esansiyel yağların antimikrobiyal, enzimatik, antioksidatif ve immünoestimülör etkileri gibi çeşitli etki biçimlerinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

4. Sonuç

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, rasyona ilave edilen maca tozu damızlık bıldırcınların performansını ve kuluçka özelliklerini etkilememiştir. Ancak damızlık bıldırcınların kabuk kalite parametrelerini (kabuk kırılma direnci, kabuk oranı) iyileştirmede rasyona 1 g/kg, yumurta iç kalite parametrelerinden Haugh birimini iyileştirmede ise rasyona 4 g/kg maca tozu ilavesi yeterli olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abd El-Galil K., Mahmoud HA. Effect of ginger roots meal as feed additives in laying Japanese quail diets. *Journal of American Science* 2015; 11(2): 164-173.
- Abdel-Wareth AAA., Ismail ZSH., Sudekum K. Effects of thyme and oregano on performance and egg quality characteristics of laying hens. *Worlds Poultry Science Journal* 2013; 69: 1-7.
- Agarwal A., Prakarsan SA. Oxidative stress and antioxidants in male fertility: a difficult balance. *Iranian Journal of Reproductive Medicine* 2005; 3: 1-8
- Amad AA., Manner K., Wendler KR., Neumann K., Zentek J. Effects of a phytogenic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. *Poultry Science* 2011; 90: 2811-2816.
- Barraza RL., Rojas PA., Mandujano IR., García HT., Reyes PG., Correa EM., Timoteo OS., Cuya MV. The effects of natural supplement containing glucosinolates, β -sitosterol and citrus flavonoids over body and uterine weight and biochemical parameters in ovariectomized mice. *Maturitas* 2015; 81(1): 148.
- Bayram I., Cetingul IS., Akkaya B., Uyarlar C. Effects of aniseed (*Pimpinella anisum* L.), on egg production, quality, cholesterol levels, hatching results and the antibody values in blood of laying quails (*Coturnix coturnix* Japonica). *Archiva Zootechnica* 2007; 10: 73-77.
- Bozkurt M., Alcicek A., Cabuk M., Kucukyilmaz K., Catli AU. Effect of an herbal essential oil mixture on growth, laying traits, and egg hatching characteristics of broiler breeders. *Poultry Science* 2009; 88: 2368-2374.
- Buğdaycı KE., Oğuz FK., Oğuz MN., Kuter E. Effects of fennel seed supplementation of ration on performance, egg quality, serum cholesterol, and total phenol content of egg yolk of laying quails. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2018; 47.
- Chen L., Li J., Fan L. The nutritional composition of maca in hypocotyls (*Lepidiummeyenii* Walp.) cultivated in different regions of China. *Journal of Food Quality* 2017.

- Damaziak K., Riedel J., Gozdowski D., Niemiec J., Siennicka A., Rog D. Effects of ginger or ginger and thyme extract in laying hens feeding on productive results and eggs quality. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Animal Science* 2018; 57(1): 5-18.
- Denli M., Okan F., Uluocak AN. Effect of dietary black seed (*Nigella sativa*) extract supplementation on laying performance and egg quality of quail (*Coturnix coturnix Japonica*). *Journal Application Animal Research* 2004; 26: 73–76.
- Dilawar MA., Mun HS., Rathnayake D., Yang EJ., Seo YS., Park HS., Yang CJ. Egg quality parameters, production performance and immunity of laying hens supplemented with plant extracts. *Animals* 2021; 11(4): 975.
- Dini A., Migliuolo G., Rastrelli L., Saturnino P., Schettino O. Chemical composition of *Lepidium meyenii*. *Food Chemistry* 1994; 49(4): 347-349.
- Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 1955; 11(1): 1-42.
- Gasco M., Yucra S., Rubio J., Gonzales GF. *Lepidium meyenii* (Maca) varieties did not alter female reproductive parameters in adult intact rats. *Journal of Complementary and Integrative Medicine* 2008; 5(1): 1-14.
- Gonzales GF., Miranda S., Nieto J., Fernández G., Yucra S., Rubio J., Pedro Y., Gasco M. Redmaca (*Lepidium meyenii*) reduced prostate size in rats. *Reproductive Biology and Endocrinology* 2005; 3(1): 1-16.
- Gonzales GF., Villaorduña L., Gasco M., Rubio J., Gonzales C. Maca (*Lepidium meyenii* Walp), una revisión sobre sus propiedades biológicas. *Revista peruana De Medicina Experimentaly Salud Pública* 2014; 31(1): 100-110.
- Gumus H., Oguz, MN., Bugdayci KE., Oguz FK. Effects of sumac and turmeric as feed additives on performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2018; 47.
- Haugh RR. The Haugh unit for measuring egg quality. *United States Egg Poultry Magazine* 1937; 43: 522-555, 572-573.
- Karakci D., Cetin I., Cetin E., Yeşilbağ D. Effects of aromatic plant extract mixture on laying efficiency, egg quality and antioxidant status in laying quails. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2022; 69(1): 61-68.
- Kazemi FM., Kermanshahi H., Rezaei M., Golian A. Effect of different levels of fennel extract and vitamin D3 on performance, hatchability and immunity in post molted broiler breeders. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2013; 3(4): 733-745
- Korkmaz S., Eseceli H., Omurtag Korkmaz I., Bilal T. Effect of maca (*Lepidium meyenii*) powder dietary supplementation on performance, egg quality, yolk cholesterol, serum parameters and antioxidant status of laying hens in the post-peak period. *European Poultry Science* 2016; 80: 1-9.

- Korkmaz S. Antioxidants in maca (*Lepidium meyenii*) as a supplement in nutrition. *Antioxidants in Foods and its Applications* 2018; 138-154.
- Larbier M., Leclercq B. Nutrition and feeding of poultry. Translated and edited by J. Wiseman. Nottingham University Press 1994; 305.
- Leon, J. The "Maca (*Lepidium meyenii*), a little known food plant of Peru. *Economic Botany* 1964; 18(2): 122-127.
- Leeson S., Summers JD. *Scott's nutrition of the chicken*. 4th Ed. University Books 2001; 591.
- Meissner HO., Kedzia B., Mrozikiewicz PM., Mscisz A. Short and long-term physiological responses of male and female rats to two dietary levels of pre-gelatinized Maca (*Lepidium Peru vianum Chacon*). *International Journal of Biomedical Science*, 2006a; 2(1): 13.
- Meissner HO., Mscisz A., Reich-Bilinska H., Mrozikiewicz P., Bobkiewicz-Kozłowska T., Kedzia B., Lowicka A., Barchia I. Hormone-balancing effect of pre-gelatinized organic Maca (*Lepidium peru vianum Chacon*) clinical responses of early-post menopausal women to Maca in doubleblind, randomized, placebo-controlled, crossover configuration, out patient study. *International Journal of Biomedical Science* 2006b; 2(4): 375.
- Minitab I. Minitab statistical software, Minitab Release 13,0, 2000.
- Moon SG., Lee SK., Lee WD., Niu KM., Hwang WU., Oh JS., Kim SK. Effect of dietary supplementation of a phytogetic blend containing Schisandra chinensis, Pinus densiflora, and Allium tuberosum on productivity, egg quality, and health parameters in laying hens. *Animal Bioscience* 2021; 34(2): 285.
- Nadia LR., Hassan RA., Qota EM., Fayek HM. Effect of natural antioxidant on oxidative stability of eggs and productive and reproductive performance of laying hens. *International Journal Poultry Science* 2008; 7: 134-150.
- NRC. *Nutrient requirements of poultry*. 9th Ed. National Academy Press. Washington. DC. 1994.
- Olgun O., Cufadar Y., Yildiz AO. Effects of boron supplementation fed with low calcium to diet on performance and egg quality in molted laying hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2009; 8(4): 650-654.
- Olgun O., Yıldız AÖ. Effect of dietary supplementation of essential oils mixture on performance, eggshell quality, hatchability, and mineral excretion in quail breeders. *Environmental Science and Pollution Research* 2014; 21(23): 13434-13439.
- Olgun O., Gül, ET., Yıldız A., Çolak A. Effect of addition of cardamom powder to the diet on Performance, egg quality and serum biochemical parameters in laying quails. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2021; 9(11): 1999-2003.
- Oshima M., Gu Y., Tsukada S. Effects of *Lepidium meyenii* Walp and *Jatropha macrantha* on blood levels of estradiol-17 β , progesterone, testosterone and the rate of embryo implantation in mice. *Journal of Veterinary Medical Science* 2003; 65(10): 1145-1146.

- Pino-Figueroa AJ., Maher TJ. Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) on female fertility in rats. The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal 2009; 23: 758-763.
- Ruiz-Luna AC., Salazar S., Aspajo NJ., Rubio J., Gasco M., Gonzales GF. *Lepidium meyenii* (Maca) increases litter size in normal adult female mice. Reproductive Biology and Endocrinology 2005; 3(1): 1-6.
- Sifuentes-Penagos G., León-Vásquez S., Paucar-Menacho LM. Study of Maca (*Lepidium meyenii* Walp.), Andean crop with therapeutic properties. Scientia Agropecuaria 2015.
- Tufarelli V., Baghban-Kanani P., Azimi-Youvalari S., Hosseintabar-Ghasemabad B., Slozhenkina M., Gorlov I., Seidavi A., Ayaşan T., Laudadio V. Effects of horsetail (*Equisetum arvense*) and spirulina (*Spirulina platensis*) dietary supplementation on laying hens productivity and oxidative status. Animals 2021; 11(2): 335.
- Uchiyama F., Jikyo T., Takeda R., Ogata M. *Lepidium meyenii* (Maca) enhances the serum levels of luteinising hormone in female rats. Journal of Ethnopharmacology 2014; 151(2): 897-902.
- Vakili R., Heravi RM. Performance and egg quality of laying hens fed diets supplemented with herbal extracts and flaxseed. Poultry Science Journal 2016; 4(2): 107-116.
- Vardar Y., Gökmen SA., Bahtiyarca Y. Damızlık Japon bıldırcın rasyonlarına anason tohumu (*Pimpinella anisum* L.) ilavesinin performans, yumurta kalitesi, kemik mineralizasyonu, kan ve üreme parametrelerine etkisi. Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi 2020; 9(2): 119-132.
- Wang Z., Yang J., Wang G., Bian L. Influence of *Lepidium meyenii* walp on lipid and bone mass in ovariectomized rats. Journal of Hygiene Research 2009; 38(4): 420-2.

Küçük Ölçekli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Nümerik Olarak Modellenmesinde Hidrolik Parametrelerin Analizi

Buse DUYAN ÇULHA¹, Evren TURHAN^{2*}

¹Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, İçme Suyu Şube Müdürlüğü, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-5797-3861>

²<https://orcid.org/0000-0002-0742-4848>

*Sorumlu yazar: eturhan@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 09.03.2022

Kabul tarihi: 04.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İçme suyu dağıtım şebekesi

Ölü nokta yöntemi

EPANET 2.0 programı

Hidrolik parametreler

İçme suyu dağıtım şebekeleri yerleşim yerlerinin ihtiyacı olan suyun sağlanması bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu yerleşimlere yeterli miktar ve kalitede su sağlayabilmek birtakım zorluklar içerebilmektedir. Klasik yaklaşımlarla yapılan çözümlere ilave olarak dağıtım şebekelerinin farklı bilgisayar programları aracılığı ile simülasyonlarının yapılabilmesi hidrolik, maliyet ve teknik yönlerden avantajları beraberinde getirebilecektir. Bu çalışmada, Adana'nın Ceyhan ilçesine bağlı Camuzağılı mahallesi gibi küçük ölçekli bir yerleşim yerinin önceden manuel olarak çözümü yapılmış olan içme suyu dağıtım şebekesine ait hidrolik tasarımı son yıllarda kullanımı yaygınlaşan açık kaynak kodlu EPANET 2.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta projeksiyon nüfusu ve yerleşim yerinin diğer etken özelliklerine göre içme suyu ihtiyaç debisi hesaplanmıştır. Şebekede depo dışında düğüm noktaları ve boru bağlantıları belirlenmiştir. Program ile 24 saatlik zaman süreçli şebeke analizleri gerçekleştirilerek, analiz sonuçlarına göre düğüm noktalarındaki basınç, hız değişimleri ve dağılımları ile su talep çarpanı parametreleri irdelenmiştir. Çalışma sonucunda basınç ve hız değerleri manuel sonuçlarla karşılaştırılmış, tüm çıktılar grafik ve tablolarla desteklenmiştir. Program ve klasik yöntemlerle ulaşılan değerlerin özellikle basınç verileri açısından birbirlerine oldukça yakın olduğu, hız verileri açısından hesaplama farklılıklarının etkili olduğu görülmüştür. İlerleyen zamanlarda modellemelerin daha kompleks şebeke sistemlerinde de incelenmesi neticesinde yakınsamanın ne ölçüde değişebileceği ayrıntılı olarak değerlendirilebilecektir.

Analyzing Hydraulic Parameters in Numerical Modeling of Small-Scale Drinking Water Distribution Network

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 09.03.2022

Accepted: 04.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Drinking water distribution network

Dead end method

EPANET 2.0 software

Hydraulic parameters

Drinking water distribution networks have a very important function in terms of providing the water needed by the settlements. Transmitting sufficient quantity and quality water to these places may present some challenges. In addition to the analysis using with conventional approaches, simulations of distribution networks via different software will bring advantages in hydraulics, cost and technical aspects. In this study, the hydraulic design of the drinking water distribution network of a small-scale settlement, such as the Camuzağılı quarter, Ceyhan district in Adana province, was carried out with the open source code EPANET 2.0 program, which has been widely used in recent years. At first, the drinking water demand flow rate value was calculated according to the projection population and other characteristics of the area. Nodes and pipe junctions were determined except the storage reservoir in the

network. Using this program, network analyzes with a 24-hour time period were performed, and according to the analysis results; pressure, velocity changes and distributions at the nodes and water demand multiplier parameters were investigated. As a result of the study, obtained pressure and velocity values with the software were compared to the results of spreadsheet application, and all outputs were shown by graphics and tables. It has been seen that the values obtained from the program and conventional method are quite close to each other, especially in terms of pressure outputs, and the calculation differences are effective on the results in terms of velocity ones. In the future, the extent to which convergency may change can be evaluated in detail as a result of the examination of the modeling in more complex network systems.

To Cite: Çulha BD., Turhan E. Küçük Ölçekli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Nümerik Olarak Modellenmesinde Hidrolik Parametrelerin Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1293-1307.

Giriş

Su canlılar açısından bir yaşam kaynağı olarak değerlendirilmekte, suya olan ihtiyaç her geçen gün daha çok artmaktadır. Su dağıtım sistemleri veya şebekeleri; kaynağından veya arıtma tesisinden gelen temiz suyu yerleşim yerlerine iletmektedir. Bu şebekeler; şehirler, okullar, evler, hastaneler, işletmeler ve diğer tesisler için içme suyu ve yangından korunma amaçlı gerekli olan suları karşılayan ve taşıyan birbirine bağlı boru hatları, depolama tesisleri ve yardımcı elemanlardan oluşmaktadır. Artan su talebi ve giderek azalan su kaynakları içme suyu dağıtım şebekelerinde doğru ve efektif hidrolik modellemeleri kaçınılmaz hale getirmiştir. Ekonomik sürdürülebilirliği sağlayabilmek amacı ile özellikle kırsal yerleşimlerin bulunduğu noktalara yeterli miktar, kalite ve teknik gerekliliklerde güvenli su hizmetini ulaştırabilmek oldukça zordur. Bu amaçla klasik yaklaşımlarla yapılan çözümlere ilave olarak dağıtım şebekeleri gibi çeşitli su yapılarının farklı bilgisayar programları aracılığı ile simülasyonlarının yapılabilmesi sağlanacak, böylece hidrolik tasarım, maliyet, teknik ve birçok yönden avantajları ortaya çıkarabilecektir (Ramana ve Chekka, 2018).

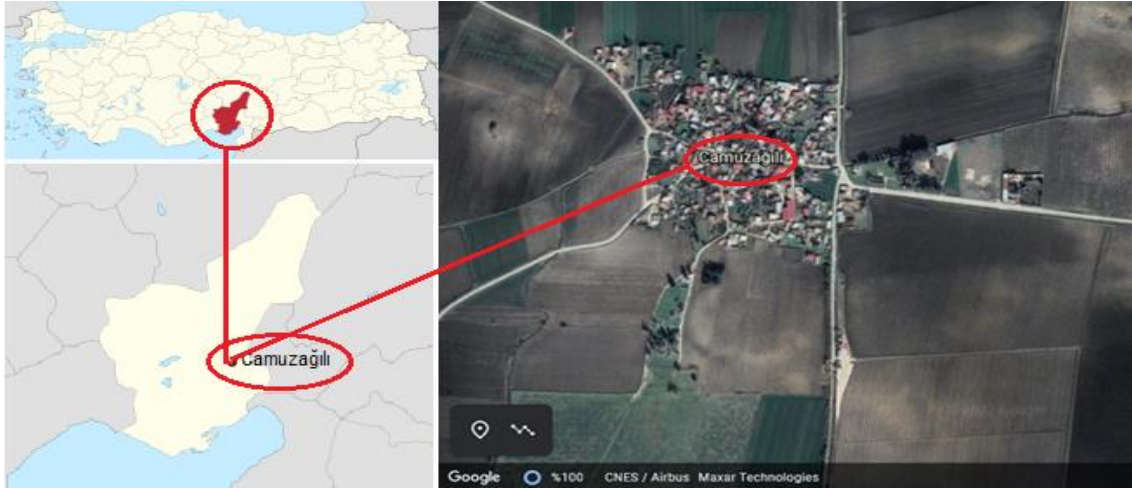
Literatürde içme suyu şebeke tasarımı konusunda Ölü Nokta (ÖN), Hardy-Cross, Newton Gradyan ve Eşdeğer Boru yöntemlerinin kullanıldığı birçok çalışmayı görmek mümkündür (Tong ve ark., 1961; Sarıcaoğlu ve Büyükgüngör, 1998; Majidi ve ark., 2018; Alashan, 2019; Türkkın ve Atakul, 2020; Eryürük 2021; Obura ve ark., 2022). Son zamanlarda dağıtım şebekelerinin nümerik analizlerinin gerçekleştirildiği EPANET, WaterCAD, MikeNet, H2Onet, WaterGEMs,...vb. gibi çok sayıda program kullanılmaktadır (Coelho ve Andrade-Campos, 2014; Agunwamba ve ark., 2018; Terlumun ve Robert, 2019; Güçlü ve ark., 2021). EPANET 2.0 bahsedilen bu programlardan biri olup, içme suyu dağıtım şebekesi gibi boru hatlarının hidrolik modellemelerinin yapılabilmesine olanak vermektedir. EPANET programından içme suyu dağıtım şebekesi analizlerinde sıklıkla faydalanılmaktadır (Kumar ve ark., 2015; Constantin ve Nitescu, 2016; Alkali ve ark., 2017; Majidi ve ark., 2018; Widiarti ve ark., 2020). Bu çalışmada, Adana'nın Ceyhan ilçesine bağlı Camuzağılı mahallesi gibi önceden manuel olarak çözümü yapılan küçük ölçekli bir yerleşim biriminin içme suyu dağıtım şebekesine ait hidrolik tasarımı EPANET 2.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. İncelenen parametreler; belirlenen düğüm noktalarındaki basınç, borulardaki hız dağılımları ve su talep çarpanıdır. Çalışma sonucunda

basınç ve hız değerleri manuel çözümlerle karşılaştırılmış, elde edilen analiz sonuçları grafik ve tablolarla desteklenmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanı

Çalışma yeri olarak tip projeler bakımından temel alınabilecek küçük ölçekte bir yerleşim yerinden başlanmasının, nüfusun daha yoğun olabileceği alanlarda hesaplamalardaki farklılığı net görmeyi sağlayabileceğinden, Türkiye’de Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Adana’nın Ceyhan İlçesi’ne bağlı Camuzağılı mahallesi seçilmiştir. Yerleşim yeri il merkezine yaklaşık 70 km, Ceyhan ilçesine ise 25 km uzaklıkta bulunmaktadır (yerelnet.org.tr, 2015). Google Haritalardan oluşturulan mahallenin haritası Şekil 1’de görülebilmektedir.



Şekil 1. Camuzağılı mahallesi haritası

İçme Suyu İhtiyaç Debisi Hesaplamaları

Su getirme projelerinin tasarımında ele alınacak debi değeri, ihtiyacı belirlenecek nüfus ile kişi başına bir gün içerisinde sarf edilebilecek su miktarının çarpılması sonucu bulunmaktadır. Dolayısı ile yerleşim merkezinin öngörülen proje süresi sonundaki nüfusunun doğruya yakın bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir (Türkkan ve Atakul, 2020).

Gelecekteki muhtemel nüfusun değerlendirilmesinde birçok yöntemden faydalanılabilmektedir. Bunlardan en çok kullanılan; Aritmetik, Geometrik ve İller Bankası metotlarıdır (Majidi ve ark., 2018; Türkkan ve Atakul, 2020; Neamat ve Günal, 2021). Bu çalışmada projeksiyon nüfusunun değerlendirilmesinde İller Bankası yönteminin kullanılması uygun görülmüştür. Hesaplamalarda 2019 yılı son nüfus değeri olarak belirlenmiş ve önceki yılların nüfusları göz önüne alınarak tahminler oluşturulmuştur. Aşağıda Denklem (1)’de yöntemin temel formülü verilmiştir (Yüce ve ark., 2016):

$$P = \left(\sqrt[a]{\frac{N_s}{N_i}} - 1 \right) * 100 \quad (1)$$

Burada P nüfus artış katsayısını, N_s son nüfus sayımındaki değeri, N_i ilk nüfus sayımındaki nüfusu, a ise nüfus sayımlarının yapıldığı yıllar arasındaki farkı temsil etmektedir. Eğer P , 1 ile 3 arası bir değerse ilgili P değeri; 1'den küçükse 1; 3'ten büyük ise de 3 değeri artış katsayısı şeklinde ele alınmaktadır.

N_g projeksiyon nüfusunu göstermek üzere Denklem (2) şu şekilde yazılabilir:

$$N_g = N_s * \left(1 + \frac{P}{100}\right)^n \quad (2)$$

n ifadesi proje yapım süresi (projenin başlangıcı ile hizmete girişi arasında geçen süre) ile proje süresi (veya projenin hizmet süresi) toplamıdır.

Modellemeye esas proje 2020 yılında İller Bankası İçme Suyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Teknik Şartnamesi'ne göre oluşturulmuştur. P artış veya çoğaltma katsayısı 1'den küçük olduğundan üst limit 1 olarak alınmıştır. 35 yıl projeksiyon süresi şeklinde değerlendirildiği için 2055 yılının nüfusu hesaplanmış, $n=36$ bulunmuştur. Elde edilen bu veriler sonucunda müstakbel nüfusun 632 kişi üzerinden ele alınması uygun görülmüştür.

İçme suyu ihtiyaç debisi genel manada insan su ihtiyacı, sanayi ihtiyacı, hayvan su ihtiyacı ve özel ihtiyaçlar kapsamında hesaplanmaktadır. Bulunan değerlere kayıp-kaçak miktarı ve yangın debisi de eklenerek toplam ihtiyaç miktarı ortaya çıkarılmaktadır (Majidi ve ark., 2018; Türkkan ve Atakul, 2020). Sonuç olarak toplam ihtiyaç debisi 2,50 L/s olarak modellemelerde kullanılmıştır.

Ölü Nokta Yöntemi ile Manuel Çözüm

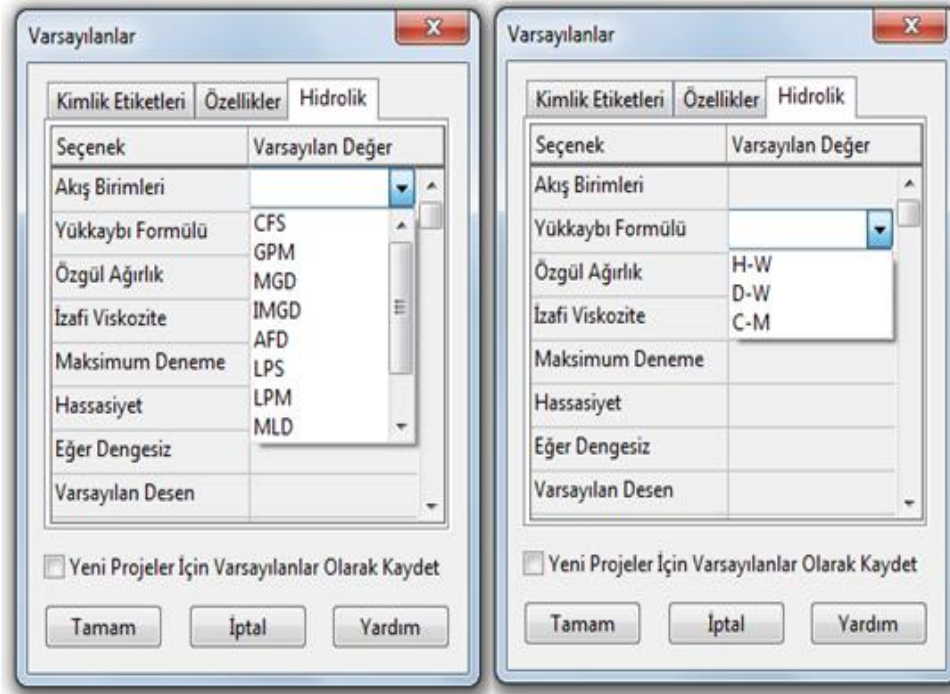
Ölü Nokta (ÖN) yönteminde içme suyu şebekesine göre debinin sıfır olacağı düğüm noktası veya noktaları göz önüne alınarak hesap debisi bulunmaktadır (Alan, 2017). Bu yöntemde bir dağıtım şebekesine her iki bağlantı noktasından da su geldiği öngörülmektedir. Sisteme dâhil olan bu sular abonelere iletilerek bir noktada tamamen tüketildiği düşünülür. İhtiyaç debisi bu yöntemde sadece düğüm noktalarında değil şebekedeki boru hattının tümü için temin edilir. Dolayısı ile şebekedeki borularda gerekli debi miktarı değişken olmaktadır (Alashan, 2019). ÖN metodunun tercih edilmesinde içme suyunun farklı yönlere iletilse dahi sonradan bir noktaya ulaşması, su sarfiyatındaki değişimlerinin etkisinin düşük olması ve sistemde herhangi bir arıza olması durumunda yakın düğüm noktalarından diğerlerine su geçişinin mümkün olabilmesi şeklinde faktörler sayılabilir (Türkkan ve Atakul, 2020). Bu çalışmada şebeke çözümü ÖN yöntemi ile Ms-Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

EPANET 2.0 Programı

Bu çalışmada daha önce uygulanmış bir proje örneğinden yola çıkılarak içme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik modellemesi gerçekleştirilmiştir. İncelenen EPANET 2.0 yazılımı, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu, basınçlı boru şebekelerinde hidrolik ve su kalitesi modelleme bilgisayar programıdır. Model kurulurken

EPANET 2.0 Users Manual adlı kullanıcı kılavuzundan faydalanılmıştır (EPANET 2.0 TR, 2019). Yazılım, ABD birimler sistemi yanında uluslararası metrik birimler sistemini de kullanmaktadır. Yerel su idareleri, mevzuat gereklilikleri ve müşteri beklentilerini karşılamak amacıyla su dağıtım sistemlerine verilen arttırılmış suyun hareket ve dönüşümlerini daha iyi anlama ihtiyacı doğrultusunda bu tip programlardan faydalanabilmektedirler.

EPANET, bahsedilen amacın gerçekleştirilmesine yönelik bilgisayar tabanlı bir simülasyon modeli olup, uzun süre çalışan bir içme suyu dağıtım sistemi içindeki hidrodinamik ve su kalitesi davranışını öngörebilmektedir. EPANET “*gradyan metodu*” ile çözüm yapan bir hidrolik hesap programı olarak ifade edilmektedir (Majidi ve ark., 2018). Program her noktadaki basıncı, her borudaki su akışını, her depodaki suyun yüksekliğini ve şebeke boyunca kimyasal madde konsantrasyonunu çoklu zaman adımlarından oluşan bir simülasyon periyodu boyunca izlemek için kullanılabilir. Programa her bir borunun uzunluğu, çapı, pürüzlülük katsayısı, düğüm noktalarında su talepleri, arazi kot değerleri ve ekipmanlara ait veriler girilerek şebeke hidrolik hesapları gerçekleştirilmektedir (Rossman, 2000). Yapılan çalışmada debi birimi olarak L/s kullanılsa da program farklı seçenekler sunmaktadır (Şekil 2). Veri girişinde önce depo, sonrasında düğüm noktaları eklenmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Akış biriminin seçilmesi (solda) ve istenirse yük kaybı formülünün belirlenmesi (sağda)

Özellik	Değer
*Depo Kimlik	D1
X -Koordinat	488652.83
Y -Koordinat	4124354.48
Açıklama	
Künye	
*Zemin Kotu	58.17
*Başlangıç Seviye	2
*Minimum Seviye	0
*Maksimum Seviye	4
*Çap	100
Minimum Hacim	
Hacim Eğrisi	
Kanım Modeli	Mixed
Kanım Bölüm	
Reaksiyon Katsayısı	
Başlangıç Kalitesi	
Kaynak Kalitesi	
Net Giriş Debisi	#N/A
Zemin Kotu	#N/A
Basınç	#N/A
Kalite	#N/A

Özellik	Değer
*Düğüm Noktası Kimlik	N5
X -Koordinat	486818.92
Y -Koordinat	4124752.29
Açıklama	
Künye	
*Zemin Kotu	41.49
Temel Talep	0.12
Talep Deseni	
Talep Kategorileri	1
Yayıcı Katsayısı	
Başlangıç Kalitesi	
Kaynak Kalitesi	
Gerçek Talep	#N/A
Toplam Yük	#N/A
Basınç	#N/A
Kalite	#N/A

Özellik	Değer
*Boru Kimlik	B1
*Başlangıç Noktası	D1
*Bitiş Noktası	N1
Açıklama	
Künye	
*Uzunluk	1892.50
*Çap	110
*Pürüzlülük	149
Kayıp Katsayısı	0
Başlangıç Durumu	Open
Toplu Katsayısı	
Çeper Katsayısı	
Akış	#N/A
Hız	#N/A
Birim Yükkayı	#N/A
Sürtünme Faktörü	#N/A
Reaksiyon Oranı	#N/A
Kalite	#N/A
Durum	#N/A

Şekil 3. Programda depo (solda), düğüm noktaları (ortada) ve boru özellikleri (sağda) girişleri

Sonrasında her iki nokta birleştirilerek hatlar oluşturulmuştur. Çalışmada noktaların koordinatları mevcut olduğu için altlık olarak herhangi bir harita eklenmemiştir. Program noktalar arası uzaklığı ve koordinat gibi birçok faktörü otomatik olarak belirleyebilmektedir. Ancak yine de verilerin manuel olarak girilebilmesi seçeneği de sağlanmaktadır. Zemin kot değeri, x ve y koordinatları, boru çapı ve uzunluğu gibi etkenler istendiğinde değiştirilebilmektedir.

Proje ile ilgili ön tasarım tamamlandığında, bir değer tüm elemanlar için de değiştirilmesi durumunda ayrı ayrı yapılması gerektiğinden, bu durum işlem yükünü artırabilmekte, ancak program bu konuda özelliklerin topluca değiştirilmesine imkân vermektedir. Düğüm noktaları öngörülürken olabildiğince küçük bir yerleşim bölgesi kullanılmasının hesapların doğruluğu açısından büyük bir önemi bulunmaktadır (Majidi ve ark., 2018). Bu çalışmada örnek uygulama tek zon şeklinde ele alındığından hidrolik parametrelerin her iki çözüm sonuçlarının yaklaşım düzeylerinin benzer olabileceği öngörülmüştür.

Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde öncelikle Ölü Nokta (ÖN) yöntemi ile manuel olarak şebeke çözümü gerçekleştirilmiş ve sonrasında EPANET 2.0 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma yapılmıştır. Her iki analiz sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Ölü Nokta Yöntemi ile Şebeke Analiz Sonuçları

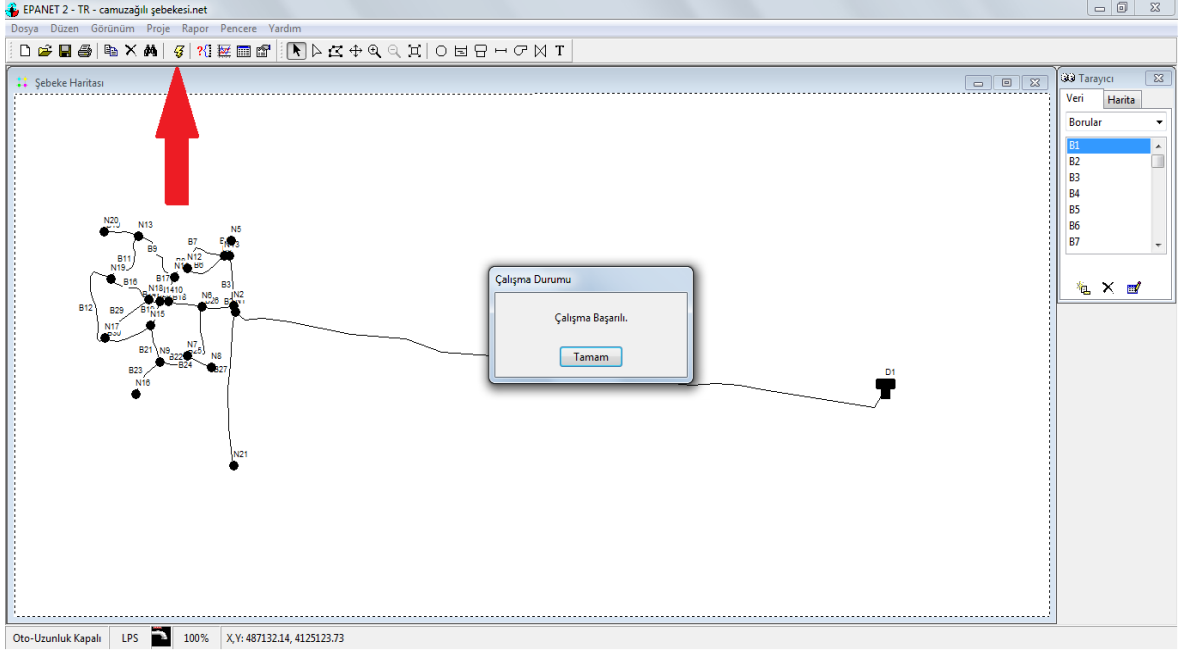
Şekil 4'te görüldüğü üzere şebekenin manuel çözümü yapılarak, tüm hidrolik parametreler hesaplanmıştır. Şebeke üzerinde ölü nokta veya noktalarının seçimine göre enerji kaybı yüksekliğinin 1,00 m'den az olması durumunda boru için öngörülen hesaplamaların doğruya yakın olduğu kabul edilmektedir (Alashan, 2019).

CEYHAN İLÇESİ CAMUZAĞILI MAH. ŞEBEKE HESAP TABLOSU.																					
BORU NO		UZUNLUKLAR				DEBİLER				BORULAR											
BAŞ	UÇ	HAKİKİ UZUNLUK (I)	KESAFET EMSALİ (K)	İTİBARI UZUNLUK K (L=I*K)	SOKAK DEBİSİ Qs=q*L	BAŞ DEBİSİ Qb	UÇ DEBİSİ Quç	YANGIN DEBİSİ Qy	HESAP DEBİSİ Qh=Qb+Qy	BORU ÇAPI	10ATÜ et kal			V	J	J ² L	PIYOZOMETRE KOTU Kk-Jl	ARAZİ KOTU	İŞLETME BASINÇ PK-ZK	STATİK BASINÇ KK-ZK	
depo																		59.17			
DEPO	1	1892.50	0.000	0.00	0.00	1.50	1.50	1.00	2.50	110	6.6	0.097	0.003	0.340	0,001330	2.52	56.65	40.83	15.82	18.34	
1	21a	416.50	1.000	416.50	0.21	0.21	0.00	1.00	1.21	63	3.8	0.055	0.001	0.501	0,005240	2.18	54.47	41.22	13.25	17.95	
1	2	18.00	1.000	18.00	0.01	1.29	1.28	1.00	2.29	110	6.6	0.097	0.002	0.312	0,001132	0.02	56.63	41.18	15.45	17.99	
2	3	140.00	1.000	140.00	0.07	0.23	0.16	1.00	1.23	75	4.5	0.066	0.001	0.359	0,002305	0.32	56.31	41.65	14.66	17.52	
2	6	86.50	1.000	86.50	0.04	1.05	1.01	1.00	2.05	110	6.6	0.097	0.002	0.279	0,000924	0.08	56.55	41.44	15.11	17.73	
3	5a	39.50	1.000	39.50	0.02	0.02	0.00	1.00	1.02	63	3.8	0.055	0.001	0.423	0,003828	0.15	56.16	41.49	14.67	17.68	
3	4	15.50	1.000	15.50	0.01	0.14	0.13	1.00	1.14	63	3.8	0.055	0.001	0.473	0,004699	0.07	56.24	41.36	14.88	17.81	
4	12a	137.00	1.000	137.00	0.07	0.07	0.00	1.00	1.07	63	3.8	0.055	0.001	0.443	0,004173	0.57	55.67	42.23	13.44	16.94	
4	12b	126.00	1.000	126.00	0.06	0.06	0.00	1.00	1.06	63	3.8	0.055	0.001	0.441	0,004134	0.52	55.72	42.23	13.49	16.94	
6	7	176.00	1.000	176.00	0.09	0.17	0.08	1.00	1.17	63	3.8	0.055	0.001	0.487	0,004958	0.87	55.68	41.32	14.36	17.85	
7	8a	71.50	1.000	71.50	0.04	0.04	0.00	1.00	1.04	63	3.8	0.055	0.001	0.430	0,003940	0.28	55.40	41.08	14.32	18.09	
7	9a	98.00	1.000	98.00	0.05	0.05	0.00	1.00	1.05	63	3.8	0.055	0.001	0.435	0,004034	0.40	55.28	41.56	13.72	17.61	
6	10	97.50	1.000	97.50	0.05	0.84	0.79	1.00	1.84	110	6.6	0.097	0.002	0.250	0,000752	0.07	56.48	42.15	14.33	17.02	
10	11	69.50	1.000	69.50	0.03	0.14	0.11	1.00	1.14	63	3.8	0.055	0.001	0.475	0,004739	0.33	56.15	42.36	13.79	16.81	
11	12a	46.00	1.000	46.00	0.02	0.02	0.00	1.00	1.02	63	3.8	0.055	0.001	0.425	0,003850	0.18	55.97	42.23	13.74	16.94	
11	13a	173.50	1.000	173.50	0.09	0.09	0.00	1.00	1.09	63	3.8	0.055	0.001	0.451	0,004306	0.75	55.40	42.26	13.14	16.91	
10	14	23.50	1.000	23.50	0.01	0.65	0.63	1.00	1.65	75	4.5	0.066	0.002	0.481	0,003956	0.09	56.39	42.16	14.23	17.01	
14	15	67.00	1.000	67.00	0.03	0.22	0.18	1.00	1.22	63	3.8	0.055	0.001	0.506	0,005320	0.36	56.03	42.16	13.87	17.01	
15	9	100.00	1.000	100.00	0.05	0.11	0.06	1.00	1.11	63	3.8	0.055	0.001	0.461	0,004491	0.45	55.58	41.56	14.02	17.61	
9	16a	123.50	1.000	123.50	0.06	0.06	0.00	1.00	1.06	63	3.8	0.055	0.001	0.441	0,004125	0.51	55.07	41.73	13.34	17.44	
15	17a	146.00	1.000	146.00	0.07	0.07	0.00	1.00	1.07	63	3.8	0.055	0.001	0.445	0,004206	0.61	55.42	41.78	13.64	17.39	
14	18	28.00	1.000	28.00	0.01	0.42	0.40	1.00	1.42	75	4.5	0.066	0.001	0.414	0,002994	0.08	56.30	41.72	14.58	17.45	
18	17a	157.00	1.000	157.00	0.08	0.08	0.00	1.00	1.08	63	3.8	0.055	0.001	0.448	0,004246	0.67	55.64	41.78	13.86	14.52	
18	19	122.50	1.000	122.50	0.06	0.32	0.26	1.00	1.32	75	4.5	0.066	0.001	0.387	0,002642	0.32	55.98	42.78	13.20	13.52	
19	13	161.00	1.000	161.00	0.08	0.12	0.04	1.00	1.12	63	3.8	0.055	0.001	0.466	0,004580	0.74	55.24	42.26	12.98	14.04	
13	20a	86.00	1.000	86.00	0.04	0.04	0.00	1.00	1.04	63	3.8	0.055	0.001	0.433	0,003991	0.34	54.90	41.99	12.91	14.31	
19	17a	276.50	1.000	276.50	0.14	0.14	0.00	1.00	1.14	63	3.8	0.055	0.001	0.472	0,004692	1.30	54.68	41.78	12.90	14.52	

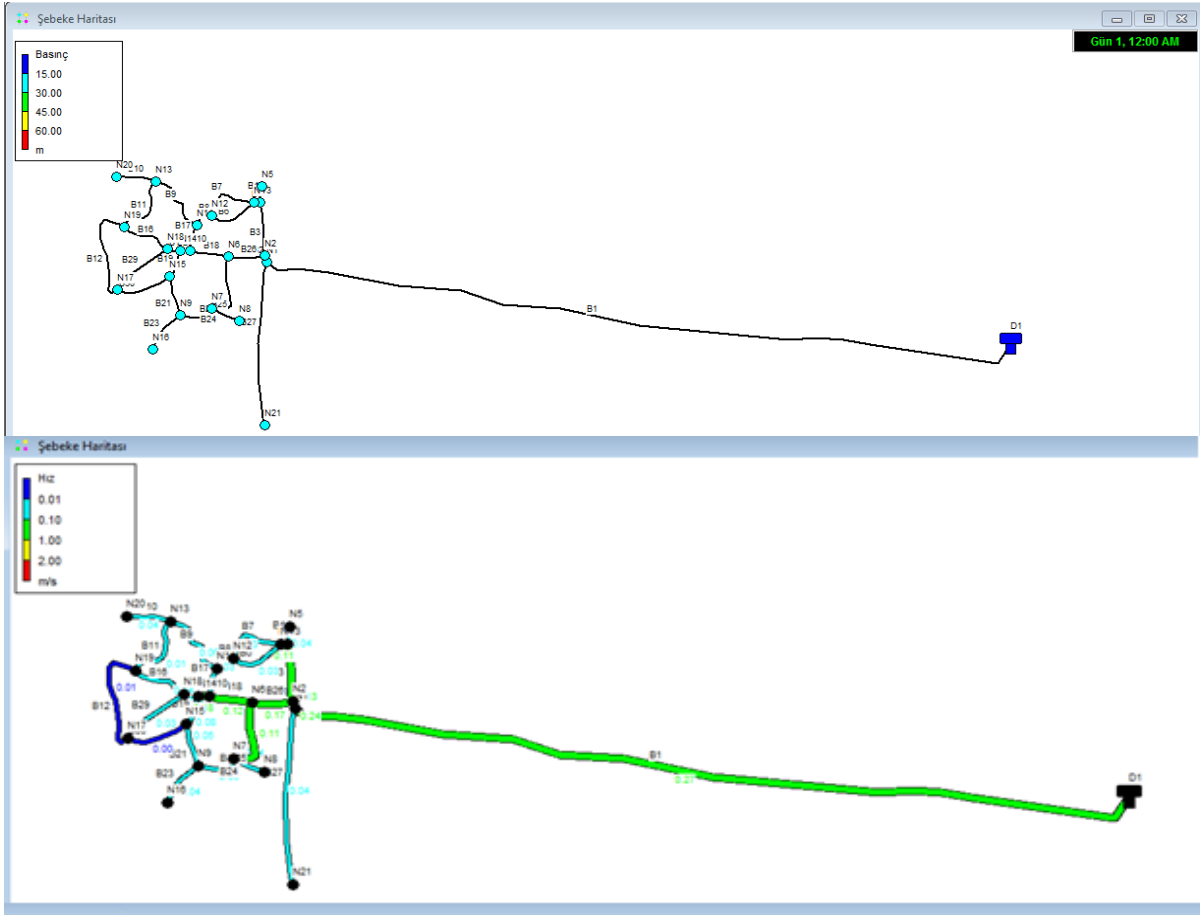
Şekil 4. Camuzağılı mahallesi içme suyu dağıtım şebekesinin Ms- Excel ile manuel çözümü

EPANET 2.0 Analiz Sonuçları

Boru özelliklerinin programa tamamıyla ve ölçekli bir şekilde girilmesi neticesinde şebeke Şekil 5'te gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Projenin gelecek nüfusunun belirlendiği 2055 yılındaki içmesuyu ihtiyacı bahsi geçen İller Bankası yönetmeliğine göre hesaplanmış olup, 2,5 L/s ihtiyaç debisine göre bir metre boruya ne kadar debi öngörüüleceği ortaya konulmuştur. Program çalıştırılıp önceden tespit edilen hata oranına varıldığında, program sonuçları kaydetmektedir. Bu sonuçlar, şebeke içerisindeki her bir boru için debi değeri, basınç değeri ve diğer hidrolik parametreler şeklinde ifade edilmiştir. Şekil 6'da 24 saatlik basınç ve hız dağılımları, Şekil 7'de ise düğüm noktalarına göre basınç sonuçları gösterilmektedir.

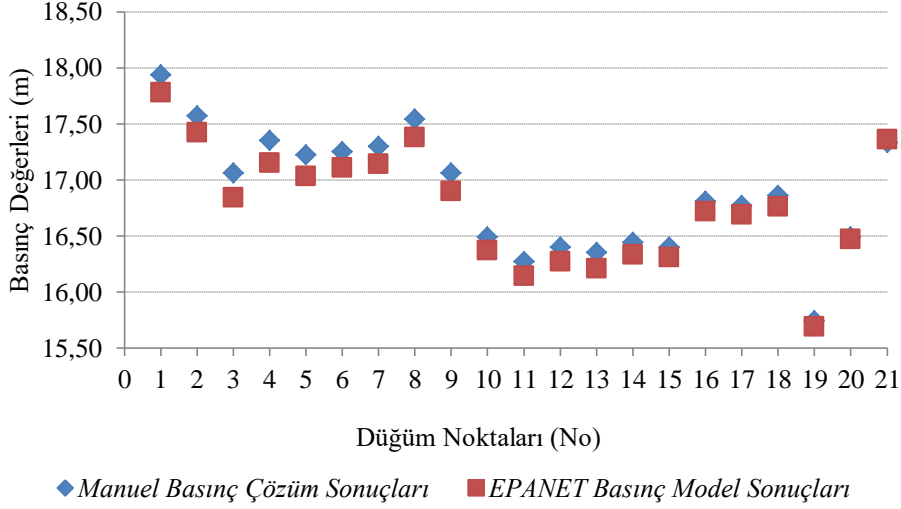


Şekil 5. Düğüm noktaları ve boru bağlantılarının oluşturulması

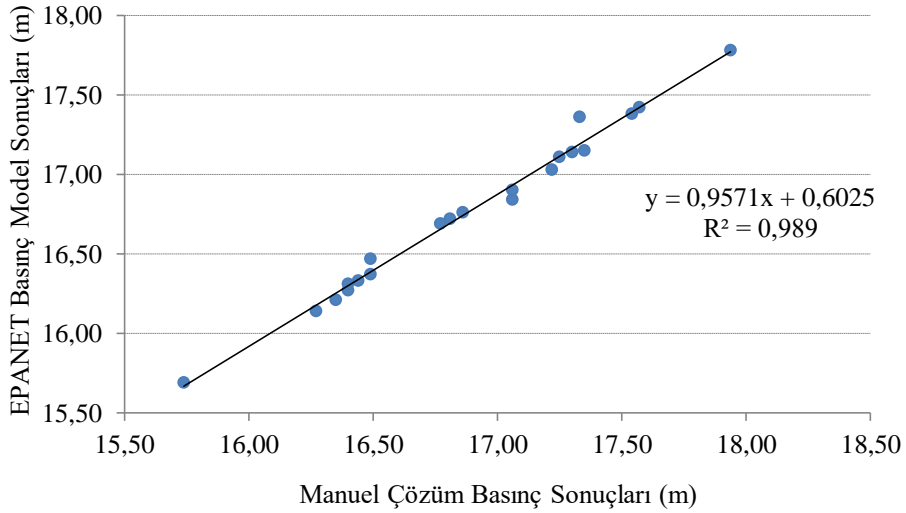


Şekil 6. EPANET 2.0 programı basınç (üstte) ve hız (altta) dağılımı analiz sonuçları

Şekil 7’de görüleceği üzere her iki yöntem ile elde edilen basınç değerlerinin birbirlerine oldukça yakın sonuçlar ürettiği görülebilmektedir. Şekil 8’deki basınç değerleri korelasyon grafiğine göre ise determinasyon veya belirlilik katsayısı (R^2) yaklaşık %99 bulunmuştur.



Şekil 7. Düğüm noktalarına göre elde edilen basınç sonuçları (m)

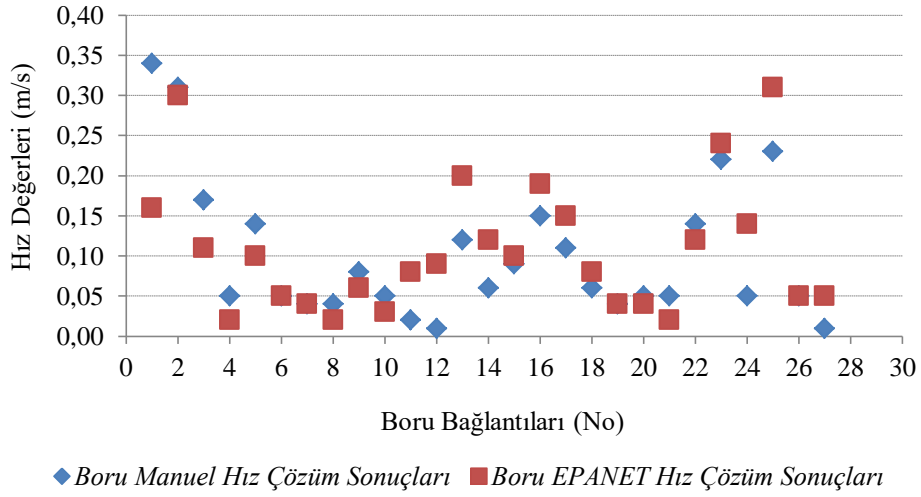


Şekil 8. Basınç sonuçları korelasyon grafiği

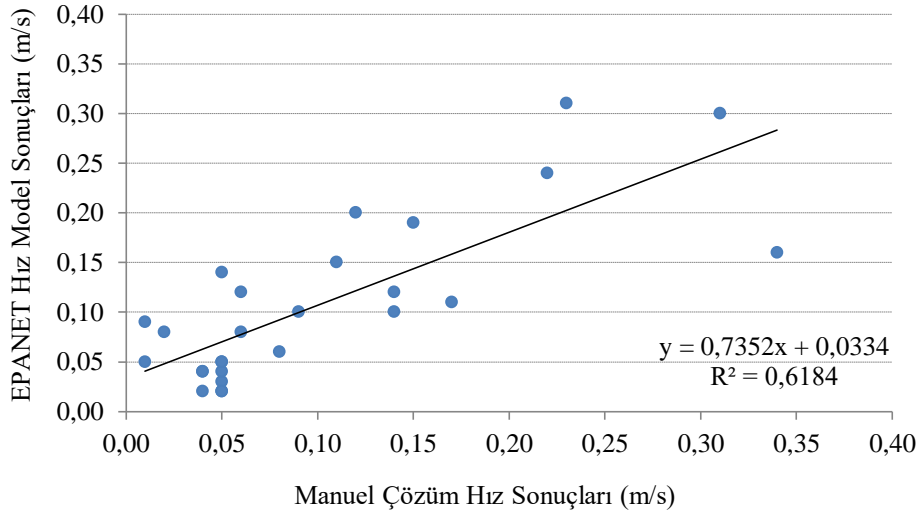
Bir başka hidrolik parametre olan hız sonuçları ele alındığında, Manuel ve EPANET çözüm sonuçları arasında önemli farklılıkların olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 9). Borularda oluşan bu farklılığın nedeni, manuel çözümde ihtiyaç debisi boru uzunluğuyla orantılı bir şekilde dağıtılırken, program ile yapılan modellemelerde düğüm noktalarına eşit şekilde bölüştürülmektedir.

Selçuk (2014) çalışmasında ÖN yöntemi hesaplarında pik faktörünün 1,50 olarak alınmasının sonuçlarda diğer yöntemlere göre değişiklikler oluşturabileceğini açıklamaktadır. Metotların çözüm sonuçlarında bu etkenler mutlaka göz önüne alınmalıdır. Şekil 10’da hız değerleri korelasyon grafiğine

göre ise determinasyon katsayısı (R^2) yaklaşık %62 bulunmuştur. Pik faktörü ÖN harici metotlarda 1,00 veya farklı değerler alabilmektedir.

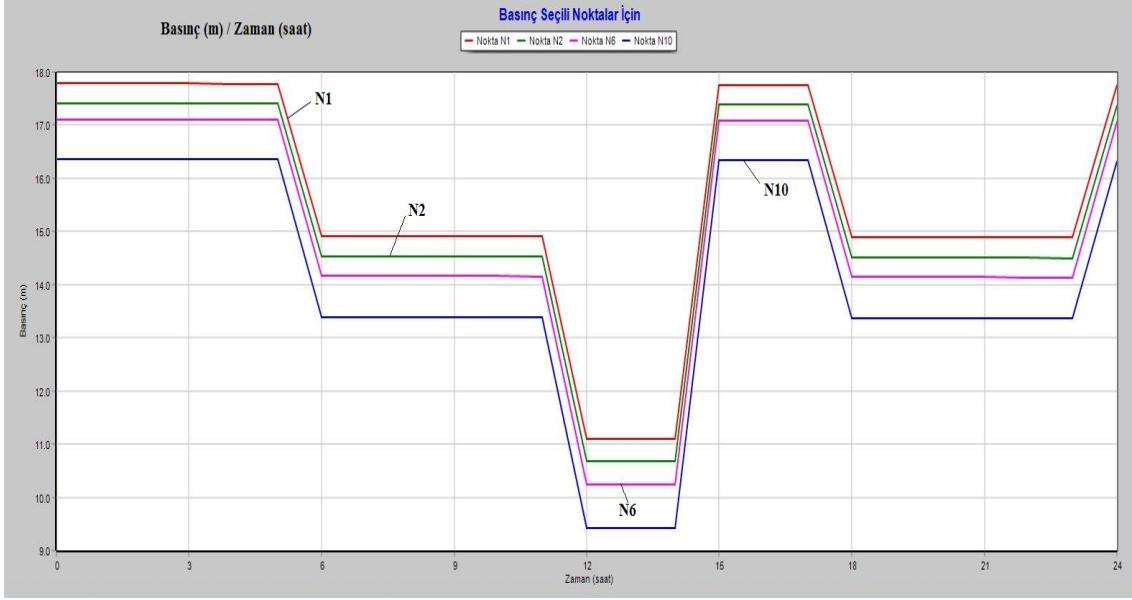


Şekil 9. Boru bağlantılarına göre elde edilen hız sonuçları (m/s)



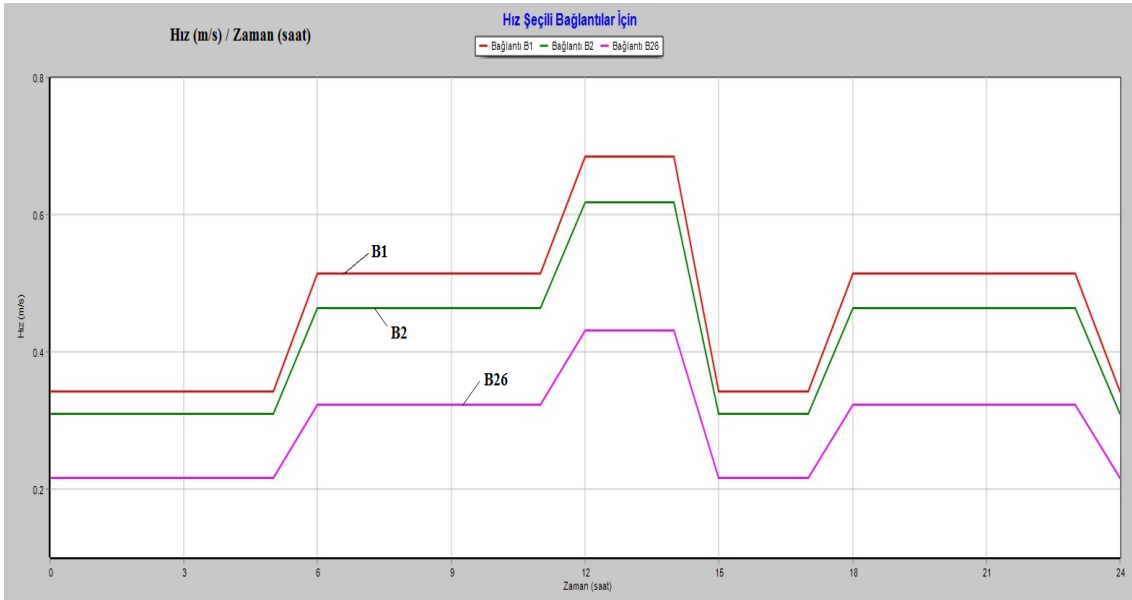
Şekil 10. Hız sonuçları korelasyon grafiği

Çalışma yapılan bölgede, yerleşim düz bir arazi üzerine yayılmış olup, bu durum şebekede yüksek basınç farklarının oluşmasını engellemiştir. Dolayısıyla küçük ölçekli bir şebekenin tek bölge olarak çözümlenmesi, sonuçların tutarlılığı açısından büyük önem arz etmektedir. EPANET 2.0 programı yardımıyla yapılan modellemelerden elde edilen ana borulardaki 24 saatlik basınç-zaman değişim grafiği Şekil 11'de verilmektedir. Şekil 11'e bakıldığında, seçili noktalar için 24 saatlik zaman süreci içerisinde başlangıçta basınç değerlerinin bir süre aynı kaldığı, daha sonra düşüş eğilimi gösterdiği, sonrasında ise tekrar bir müddet sabit seviyelerde olduğu görülmektedir. 12 saatlik sürenin tamamlanması akabinde basınç değerleri artmakta, bunu sabit değerler izlemekte, 24 saatin son kısmında ise grafikte yükselme durumu dikkat çekmektedir.



Şekil 11. EPANET 2.0 ile elde edilen ana borulardaki 24 saatlik basınç-zaman değişim grafiği

Programla oluşturulan modellemelerden elde edilen ana borulardaki 24 saatlik hız-zaman değişim grafiği Şekil 12’de gösterilmektedir. Selçuk (2014) yaptığı çalışmada farklı programlarla elde ettiği sonuçlarda da EPANET’te olduğu gibi borudaki hızların 1,0 m/s’yi çoğunlukla aşmadığını gözlemlemiştir. Modellemede 24 saatlik zaman dilimi 8 parçaya bölünerek, her 3 saatte bir belirlenen su tüketim oranları ayrı ayrı ortaya konulmuş ve desen olarak programa tanımlanmıştır (Şekil 13).



Şekil 12. EPANET 2.0 ile elde edilen ana borulardaki 24 saatlik hız-zaman değişim grafiği

Yapılan çalışma sonucunda şebekede depo haricinde 21 düğüm noktası, toplamda 4894,50 m (Ø160 HDPE 1892,50 m; Ø110 HDPE 202,00 m; Ø75 HDPE 314,00 m; Ø63 HDPE 2486,00 m) olmak üzere 30 adet boru tasarlanmıştır. Sistem tek depodan 24 saat boyunca beslenmekte olup, depo krepin kotu

59,17 m'dir. Şebekede en düşük işletme basıncı tek zamanlı çalıştırma sırasında 12,90 m'dir ve en yüksek statik basınç ise 15,82 m olarak bulunmuştur.



Şekil 13. Yerleşim yerindeki su tüketimine göre 24 saatlik su talep çarpanı grafiği

Sonuçlar

Bu çalışmada, Adana'nın Ceyhan ilçesine bağlı Camuzağılı Mahallesi gibi küçük ölçekli bir yerleşim yerinin önceden manuel olarak çözümü yapılmış olan içme suyu dağıtım şebekesine ait hidrolik tasarımı son yıllarda kullanımı yaygınlaşan açık kaynak kodlu EPANET 2.0 programı ile modellenmiştir. İller Bankası metoduna göre projeksiyon nüfusu ve yerleşim yeri su tüketim kriterleri göz önünde bulundurularak içme suyu ihtiyaç debisi hesaplanmıştır. Şebekede depo dışında 21 adet düğüm noktası ve 30 adet boru bağlantıları belirlenmiştir. Program ile 24 saatlik zaman süreçli şebeke analizleri gerçekleştirilerek, analiz sonuçlarına göre düğüm noktalarındaki basınç, boru bağlantılarındaki hız değişimleri ve dağılımları ile su talep çarpanı parametreleri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda basınç ve hız değerleri Ölü Nokta (ÖN) yöntemi çıktıları ile karşılaştırılmış, sonuçlar grafik ve tablolarla desteklenmiştir. Program ve klasik yöntemlerle ulaşılan değerlerin özellikle basınç verileri açısından birbirlerine oldukça yakın olduğu, hız verileri açısından hesaplamada farklılıkların olduğu görülmüştür. Literatürdeki benzer uygulamalar düşünüldüğünde pik faktörü katsayısının hız parametresi açısından etken durum olduğu ifade edilebilir.

EPANET 2.0 "gradyan metodu" ile çözüm yapan bir hidrolik hesap programı olarak belirtilmektedir. Program manuel çözüme kıyasla hesaplamalar açısından hızlı sayılabilecek sonuçlar vermekle birlikte grafik ve çizelgeler açısından da çok çeşitli seçenekler sunmaktadır. Programda nokta koordinatları ve kotları gibi verilerin girdisi manuel olarak yapılabildiği için coğrafi bilgi sistemi tabanlı yazılımlara göre geliştirilebilir konumda olduğu söylenebilir. Zaman adımları belirlenerek, günün belirli periyotlarındaki su kullanım miktarlarına göre çok zaman adımlı hesaplama kabiliyeti, işlem yükü ve elde edilen sonuçlar açısından manuel çözüme kıyasla avantajlar sağlamaktadır. İlerleyen zamanlarda modellemelerin daha kompleks şebeke sistemlerinde de incelenmesi neticesinde çözümlerin yaklaşım

oranının ne ölçüde değişebileceği görülebilir. Ayrıca Hardy-Cross yöntemi gibi farklı şebeke çözümleri ile üretilecek veriler belli hidrolik parametreler açısından irdelenebilir. Bu sayede yük kaybı, boru cinsi gibi çeşitli değişkenlerin özellikle inşaat maliyetlerini nasıl etkileyebileceği de ek bir araştırma konusu olarak ortaya konulabilir.

Teşekkür

Yazarlar Adana Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü, Plan-Proje Daire Başkanlığı, İçme Suyu Proje Müdürlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

*Bu çalışma 2021 yılında gerçekleştirilen 6. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi'nde özeti sunulan bildirinin genişletilmiş halidir.

Kaynakça

- Agunwamba JC., Ekwule OR., Nnaji CC. Performance evaluation of a municipal water distribution system using WaterCAD and Epanet. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 2018; 8(3): 459-467.
- Alan E. Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi Yeditepe mahallesi içme suyu şebekesi tasarımı. İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 83, İstanbul, Türkiye, 2017.
- Alashan S. İçme suyu şebekelerinde hesap debilerinin ölü noktalar yöntemi ile şematik çözümü. *Su Kaynakları* 2019; 4(2): 15-21.
- Alkali AN., Yadima SG., Usman B., İbrahim UA., Lawan AG. Design of a water supply distribution network using EPANET 2.0: A case study of Maiduguri zone 3, Nigeria. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment* 2017; 13(3): 347-355.
- Coelho B., Andrade-Campos A. Efficiency achievement in water supply systems- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 30: 59-84.
- Constantin A., Nitescu CŞ. Water distribution network design based on numerical simulation in EPANET. *International Scientific Conference People, Buildings and Environment*, 29 Eylül- 01 Ekim 2016, sayfa no: 1-9, Luhacovice, Czech Republic.
- Eryürük K. Hydraulic models for calculating head loss in water distribution system: A case study in Konya. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; Özel Sayı 28: 275-279.

- Güçlü MC., Ekinci B., Korkmaz A., Başaran Y., Karaaslan Y., Aldemir S., Türkoğlu A., Serindağ A., Fernandez JAC., Ar K., Ülgen B., Dikmen B., Pakdemirli B. The feasibility study to improve the efficiency of municipal water supply. *Turkish Journal of Water Science & Management* 2021; 5(1): 2-39.
- Kumar A., Kumar K., Bharanidharan B., Matial N., Dey E., Singh M., Thakur V., Sharma S., Malhotra N. Desing of water distribution system using EPANET. *International Journal of Advanced Research* 2015; 3(9): 789-812.
- Majidi AG., Korkmaz S., Marrouchi Y. Bilgisayar programı ile içmesuyu dağıtım şebekesi tasarımı: Bursa, Görükle mahallesi uygulaması. *Su Kaynakları* 2018; 3(1): 24-33.
- Neamat DH., Günal AY. Design of a gravity water distribution system for a village using EPANET software. *Journal of Global Scientific Research* 2021; 6(7): 1523-1532.
- Obura D., Kimera D., Khaldi A. A Hardy Cross approach for hydraulic modelling of water pipe networks. *East African Journal of Engineering* 2022; 5(1): 28-56.
- Ramana GV., Chekka VSSS. Validation and examination of existing water distribution network for continuous supply of water using EPANET. *Water Resources Management* 2018; 32: 1993-2011.
- Rossman LA. EPANET 2.0 users manuel. EPA United States Environmental Protection Agency 2000.
- Sarıcaoğlu K., Büyükgüngör H. İçme suyu şebekelerinin hesabında bilgisayar kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 1998; 4(3): 767-775.
- Selçuk A. İçmesuyu şebekelerine ait tasarım metodlarının (Ölü nokta veya Hardy-Cross) bilgisayar programları kullanılarak karşılaştırılması. *Ankisoft* 2014; sayfa no: 14. <https://www.ankisoft.com.tr/>, Erişim tarihi: 01.03.2022.
- Tarım ve Orman İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. EPANET TR 2.0 Türkçe Kullanma Kılavuzu Kasım- 2019; sayfa no: 1-132. Ankara, Türkiye.
- Terlumun UJ., Robert EO. Evaluation of municipal water distribution network using Watercad and Watergems. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 2019; 5(2): 147-156.
- Tong AL., O'Connor TF., Lynch DE., Stearns WO. Analysis of distribution networks by balancing equivalent pipe lengths. *American Water Works Association* 1961; 53(2): 192–210.
- Türkkan GE., Atakul F. İçme suyu şebeke hattının farklı boru tipleri için tasarımı ve maliyeti: Erzurum ili Horasan ilçesi örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8: 1521-1532.
- Widiarti WY., Wahyuni S., Wiyono RUA., Hidayah E., Halik G., Sisinggih D. Evaluation of pipe network distribution system using EPANET 2.0 (a case study fo the city of Jember). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2020, 437: 2-10.
- YerelNet.org.tr. Camuzağılı mahallesi. Arşiv 2015; <https://www.yerelnet.org.tr/>, Erişim tarihi: 20.02.2022.

Yüce Mİ., Muratoğlu A., Yüce Ő., EŞit M. Gaziantep ilinin gelecek ihtiyacını karşılamak üzere Göksu havzasından su temini. International Symposium of Water and Wastewater Management (ISWWM), October 26-28, 2016, sayfa no: 1-10, Malatya, Türkiye.



Maximum Power Point Tracking Performance Benchmarking of High Step-Up DC-DC Converters

Kenan AYTEN^{1*}, Murat Mustafa SAVRUN²

¹Osmaniye Korkut Ata University, Electrical & Electronics Engineering, 80010, Osmaniye, Turkey

²Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Electrical & Electronics Engineering, 01250, Adana, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-2242-3269>

²<https://orcid.org/0000-0001-5847-5082>

*Corresponding author: kenanayten@osmaniye.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 16.12.2021

Accepted: 08.04.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Maximum power point tracking

Performance benchmarking

High voltage gain

DC-DC converter

Photovoltaic

ABSTRACT

Renewable energy sources (RESs) such as photovoltaic panels (PV) and fuel cells (FC) are frequently equipped with DC-DC converters to regulate output voltage and to extract maximum energy because of their intermittent nature. In addition to regulation capability, the DC-DC converters need to increase low output voltage levels of RESs with their high gain capability. Although conventional boost converters are a good candidate to reduce the number of series-connected PV panels, they have recently been replaced by high voltage gain step-up DC-DC converters due to the disadvantages of limited voltage gain and high switching stress. The main aims of the high gain converters are to provide high voltage gain and to extract maximum power from the PV systems. In this paper, the benchmarking of maximum power extraction capabilities of high step-up DC-DC converters for PV-powered systems, have been presented. Three different high gain step-up DC-DC converter topologies: (i) quadratic boost converter (QBC), (ii) three level boost converter (TLBC), (iii) stacked boost converter (SBC) have been analysed under maximum power point tracking (MPPT) mode that uses the Perturb and Observe (P&O) algorithm. 5.11 kW PV-powered system has been modelled in the MATLAB/Simulink environment for each converter using same design parameters. The aforementioned converters are simulated under different irradiances: 1000, 900, 850, 750 and 700. The performance comparison of the converters has been conducted for such metrics; the maximum PV power, converter efficiencies, output current and voltage ripples. Performance results show that; the TLBC topology excels with the advantages of higher energy extraction capability and efficiency values. The efficiency values of the converters are 98.9%, 98.1%, and 96.5% for TLBC, SBC, and QBC, respectively.

Yüksek Yükseltici DA-DA Dönüştürücülerin Maksimum Güç Noktası İzleme Performansı Karşılaştırması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.12.2021

Kabul tarihi: 08.04.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Maksimum güç noktası takibi

Performans kıyaslaması

Yüksek voltaj kazancı

DA/DA çevirici

Fotovoltaik

ÖZ

Fotovoltaik paneller (FV) ve yakıt hücreleri (YH) gibi yenilenebilir enerji kaynakları (YEK'ler), kesintili yapıları nedeniyle çıkış voltajını düzenlemek ve maksimum enerjiyi elde etmek için sıklıkla DA-DA dönüştürücülerle birlikte kullanılır. Düzenleme kabiliyetine ek olarak, DA-DA dönüştürücülerin yüksek kazanç kabiliyeti ile YEK'lerin düşük çıkış voltaj seviyelerini arttırması gerekir. Geleneksel yükseltici dönüştürücüler, seri bağlı FV panellerinin sayısını azaltmak için iyi bir aday olsa da, sınırlı voltaj kazancı ve yüksek anahtarlama stresi dezavantajları nedeniyle son zamanlarda bunların yerini yüksek voltaj kazançlı kademeli DA-DA dönüştürücüler almıştır. Yüksek kazançlı dönüştürücülerin temel amacı, yüksek voltaj kazancı sağlamak ve FV

sistemlerden maksimum güç elde etmektir. Bu çalışmada, FV ile çalışan sistemler için yüksek kademeli DA-DA dönüştürücülerin maksimum güç elde etme yeteneklerinin kıyaslanması sunulmuştur. Üç farklı yüksek kazançlı yükseltici DA-DA dönüştürücü topolojisi: (i) ikinci dereceden yükseltici dönüştürücü (QBC: quadratic boost converter), (ii) üç seviyeli yükseltici dönüştürücü (TLBC: three level boost converter), (iii) yığılı yükseltici dönüştürücü (SBC: stacked boost converter) maksimum güç noktası izleme (MGNİ) yöntemi altında analiz edilmiştir. Değişir ve gözlemlerle (D&G) algoritmasını kullanan MGNİ yönetimi ile 5,11 kW FV destekli sistem, aynı tasarım parametreleri kullanılarak her bir dönüştürücü için MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Bahsi geçen dönüştürücülerin, 1000, 900, 850, 750 ve 700 gibi farklı ışınım altında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Dönüştürücülerin performans karşılaştırması, maksimum FV gücü, dönüştürücü verimlilikleri, çıkış akımı ve voltaj dalgalanmaları metrikleri ile yapılmıştır. Performans sonuçları, TLBC topolojisinin daha yüksek enerji elde etme kapasitesine sahip olduğunu ve daha yüksek verimlilik değerleri ile öne çıktığını göstermektedir. Dönüştürücülerin verimlilik değerleri TLBC, SBC ve QBC için sırasıyla %98,9, %98,1 ve %96,5'tir.

To Cite: Ayten K., Savrun MM. Maximum Power Point Tracking Performance Benchmarking of High Step-Up DC-DC Converters. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1308-1319.

1. Introduction

Recently, the integration of RESs has been an inevitable matter because of the limited fossil fuel reserves and carbon emissions resulting from thermal power generation. Therefore, RES-based applications are the focus of interest in recent years (İnci et al., 2021). One of the leading RES is PV panels having low cost and less complexity (Hernández-Callejo et al., 2019). The power production capacity of PV systems is affected by irradiance, temperature, and shadowing. In order to mitigate the adverse effect of the related parameters, PV-powered systems are integrated with regulator circuits that are endowed with MPPT algorithms. In recent, RESs are generally equipped with high step-up DC-DC converters in order to boost output voltage (Forouzesh et al., Lehman, 2017). In the literature, a lot of high step-up topologies have been proposed for the integration of RESs (Mohamed and Fardoun, 2016). The high step-up DC-DC converter topologies are classified in two as isolated and non-isolated (Schmitz et al., 2020). QBC, TLBC, and SBC, which are frequently used topologies in PV-powered applications, are some types of non-isolated topologies. QBC topology stands out with a low inductor current (Li et al., 2020). In the study of (Hu et al., 2020), an ultra-high step-up QBC based on coupled-inductor has been proposed and voltage gain has significantly enhanced. TLBC, which is the derivation of a traditional boost converter, has the advantages of reduced inductor size and low voltage stress on the switches (Raghavendran et al., 2021). High efficiency TLBC is available for high voltage application as a series resonant converter (Yang et al., 2021). In addition to benefiting from the advantages of the relevant topology, controller development studies have also been carried out to improve its performance. In the study (Guo et al., 2017), model predictive control is employed TLBC in PV systems. SBC is a converter that is capable of performing zero voltage switching and providing continuous input current (Park et al., 2011). Also, several studies have been presented regarding high step-up converter endowed with MPPT algorithms in PV system in recent years. TLBC have been integrated into PV systems with

MPPT capability in order to enhance the output voltage range (Raghavendran et al., 2021). In another study, performance of PV system equipped with quadratic boost converter have been analyzed under MPPT mode (Altin and Ozturk, 2016).

In addition to high voltage gain capability, the converters need to extract maximum power from PVs. In literature, various MPPT methods are proposed in terms of application purposes. One of the most famous MPPT methods is the P&O algorithm which is having easy implementation. On the other hand, new MPPT methods exist in the literature for special applications. In the study of (Kesilmiş, et al., 2020), the authors present a new MPPT method for partial shading conditions. In another study (Yazıcı, et al., 2021), the MPPT method based on the Fibonacci search algorithm has been proposed. In another study (Karabacak, 2019), the P&O-based MPPT method with higher-order sliding mode control for wind turbine systems has been presented.

As it is understood from the literature review, researchers focus on high gain converters and the integration of MPPT algorithms into converters in PV systems. In this paper, MPPT performance comparisons of high step-up converters: QBC, TLBC and SBC have been presented and analysed in detail. The pattern of the paper is organized as follows. The aforementioned converters topologies have been described in section 2, whilst PV characteristic and MPPT method is outlined in section 3. Section 4 presents the simulation results. Finally, conclusions and discussions are presented in Section 5.

2. High Step-Up DC-DC Converter Topologies

In this section, topologies of DC-DC converters which are integrated with PV-powered system have been described. In order to evaluate the performance results of high gain topologies under MPPT operation, simulation models have been conducted in MATLAB/Simulink. Three different suitable high voltage gain DC-DC converter topologies are implemented and investigated: (i) QBC, (ii) TLBC, and (iii) SBC. The modeled PV-powered and high step-up DC-DC converter integrated system is presented in Figure 1. While the converters are operated with P&O algorithm, switches are triggered with 10 kHz switching signals. PV system includes 3 series modules, 8 parallel strings. The PV system is able to produce 5.11 kW, 4.61 kW, 4.37 kW, 3.87 kW and 3.61 kW powers under irradiances of 1000, 900, 850, 750 and 700, respectively.

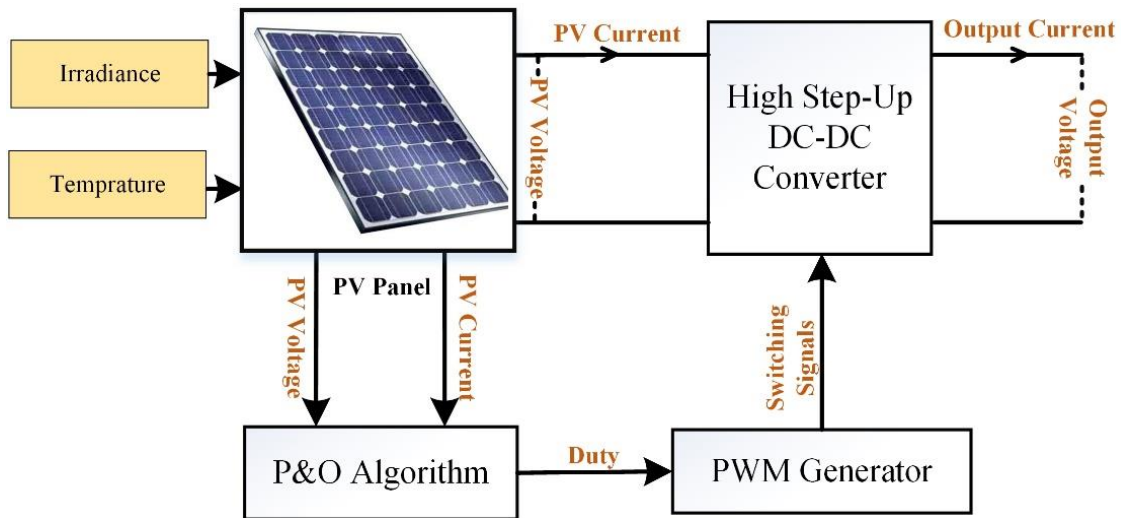


Figure 1. PV system scheme

The determined converters and their features are briefly summarized below and converter topologies have been presented in Figure 2. QBC has a wider voltage gain range with fewer elements and lower cost, against the complex high step-up boost converters. On the other hand, it can operate with higher efficiency than conventional single-switch converters thanks to low current ripple and voltage stress (Wijeratne and Moschopoulos, 2012). QBC is a topology with the specifications of low complexity and low cost, owing to having a single switch (Wang et al., 2019) and its topology has been shown in Figure 2a. TLBC which is derivative from conventional boost converter by integrating series capacitor and switch is another topology investigated in this study. TLBC which is illustrated in Figure 2b stands out with the low output voltage ripple and high voltage gain capabilities (Ganjavi et al., 2018). The last topology is SBC which has a higher step-up conversion ratio by means of a coupled inductor in comparison with the others. Also, SBC topology is able to provide zero voltage switching, continuous input current and reduced reverse recovery on diodes (Park et al., 2011). However, having a lot of component and series capacitor arrays, are disadvantages of SBC. SBC topology is presented in Figure 2c.

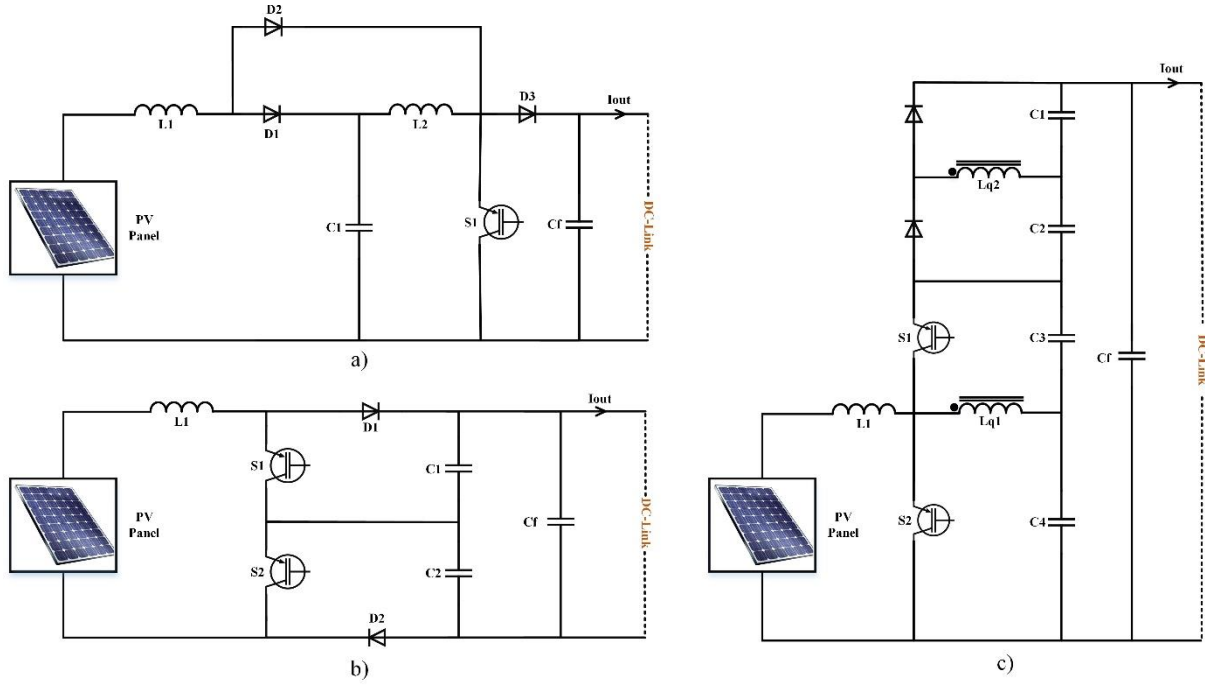


Figure 2. High step-Up DC-DC converters topologies a) QBC b) TLBC c) SBC

QBC topology contains an active switch and thus is relatively easy to control compared to latter topologies. Considering the duty cycle range, that can vary between 0-1, of the QBC, the relationship between the input (V_{in}) and output (V_{out}) voltages is computed using the S_1 duty cycle (D). It is expressed as;

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2} \quad (1)$$

Inductor currents of QBC can be expressed in equation 2 and 3. As seen from equations, augmentation of duty cycle is caused to increase input current (I_{L1}) higher from the output voltage (V_{out}) in QBC.

$$I_{L1} = \frac{V_{in}}{Z_L(1-D)^4} \quad (2)$$

$$I_{L2} = \frac{V_{in}}{Z_L(1-D)^3} \quad (3)$$

where, Z_L is output load and D is duty cycle of switch for QBC. In TLBC, S_1 and S_2 operate complementary and have same duty cycle value (D). If D is greater than 0.5, two switches are open in

one period during (D-0.5) TS which is called shoot through period. This period is activated when high voltage gain is needed. Conversion ratio of TLBC can be calculated by equation 4.

$$V_{out} = \frac{2}{1-D} V_{in} \quad (4)$$

In SBC, duty cycle varies between 0 and 1. Due to the coupled inductor in the SBC topology, the voltage gain is connected to both the turn ratio of the coupled inductor and duty cycle of switches. Voltage gain of TLBC can be calculated by equation 5 (Park et al., 2011).

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \frac{V_{So}}{V_L} \left(1 + \frac{V_L}{V_{So}}\right) \approx \frac{1+n}{1-D} \quad (5)$$

where V_L is primary output voltage of coupled inductor and V_{So} is secondary output voltage of coupled inductor. A comparative analysis between existing high step-up converter topologies used in PV system is summarized in Table 1.

Table 1. Comparison of high step-up converters

Topologies	Number of switch	Number of capacitor	Number of inductor	Number of coupled inductor	Gain	Efficiency (~)
QBC	1	2	2	0	$\frac{1}{(1-D)^2}$	%98
TLBC	2	3	1	0	$\frac{2}{1-D}$	%98
SBC	2	5	1	1	$\frac{1+n}{1-D}$	%97

Table 1 presents the comparison of the aforementioned converters in terms of number of components and voltage gain values. While SBC have more component and lower efficiency than others, it has the high voltage gain capability thanks to the turns ratio of coupled inductors. QBC stands out with low complexity because of having single switch. On the other hand, it has exponential voltage gain capability according to the duty cycle. However, high duty cycle values can decrease efficiency and increase input current. Lastly, TLBC has the lower voltage gain capability with high efficiency value.

3. MPPT Algorithm

The DC-DC converters have been controlled with P&O algorithm to extract maximum power from PV panel because of its simplicity and ease of implementation. While the controller monitors the PV voltage and current continuously, the algorithm perturbs the operating voltage of PV in order to

regulate the instantaneous power flow. The PV panel voltage is increased or decreased to control whether the power is increased or decreased (Salman et al., 2018). The instantaneous PV power is compared with the power calculated in the previous sampling (Savrun & Atay, 2020). If the output power increases, the voltage perturbation continues in the same direction otherwise perturbation is reversed. Flow chart of P&O algorithm is shown in Figure 3. ΔD corresponds to perturbation size of the algorithm is determined as a low value in order to increase the sensitivity of MPPT (Suntio and Kuperman, 2019).

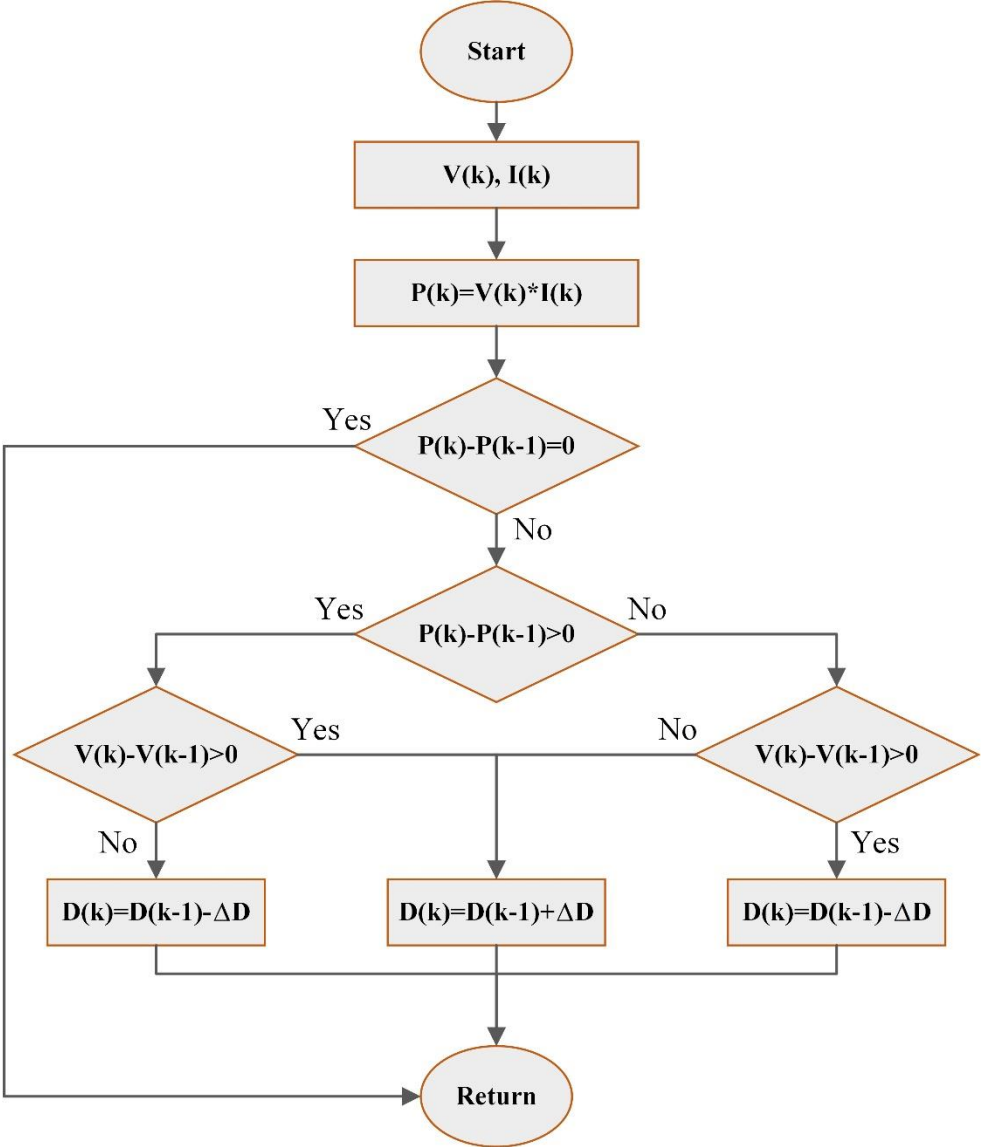


Figure 3. P&O algorithm flowchart

The performance evaluations of the DC-DC converters have been performed using a PV module in the rating of 5.11 kW, namely 1STH-215-P of the Soltech Company. The related PV cell have 213.5 W maximum power, 29 V maximum power voltage, 7.84 A maximum power current, 36.3 V open circuit voltage, 7.84 A short circuit current. The power-voltage characteristic of PV module has been captured

for 5 different irradiances at 25° C in Figure 4. In the simulation model, 5.11 kW, 4.61 kW, 4.37 kW, 3.87 kW and 3.61 kW are maximum power of PV panel under the irradiance condition of: 1000, 900, 850, 750 and 700, respectively.

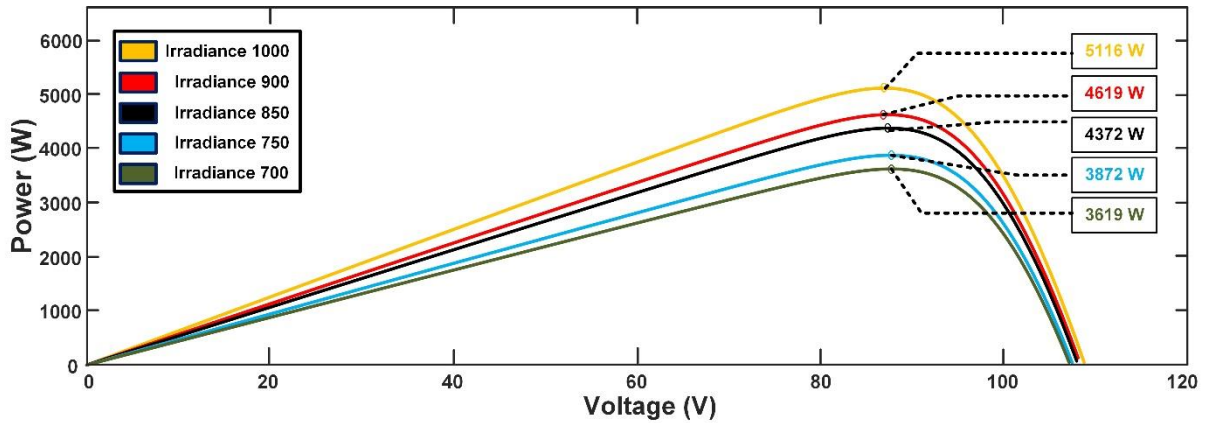


Figure 4. Power-voltage characteristic of PV

4. Simulation Results

The performance evaluations of the related topologies have been carried out with 5.11 kW PV-powered system on the MATLAB/Simulink environment. These converters have been simulated with the same design parameters and under the same irradiance conditions. The converters have been compared in the aspects of the maximum PV power, the energy efficiency of converters, output voltage and current ripple. Detailed performance results have been present in Table 2. TLBC has the best result in terms of getting maximum power from the PV panel as seen from Table 2. It is also above average in terms of voltage gain. However, the efficiency of TLBC decreases indirectly proportional with the irradiance. Also, the efficiency of SBC decreases indirectly proportional with the irradiance while the efficiency of QBC increases inversely proportional with the irradiance.

Table 2. Performance of high step-up converters

Irradiance Topologies	Max. Power (Watt)		Voltage Gain (V_{out}/V_{in})		Efficiency (P_{out}/P_{in})	
	1000	700	1000	700	1000	700
QBC	5077	3594	2.27	1.90	%96.5	%97.2
TLBC	5110	3614	2.30	1.94	%98.9	%98.7
SBC	5077	3584	2.30	1.91	%98.1	%97.8

Generally, efficiency is expected to be maximum in operating power and operating power is 5.11 kW for this study. However, Table 2 illustrates that the QBC is different from TLBC and SBC in terms of the relationship between power and efficiency. The efficiency of QBC in 700 irradiances is higher

than in 1000 irradiance. This difference depends on the duty cycle of the QBC. The duty cycle-efficiency curve of QBC is given in this study (Wijeratne and Moschopoulos, 2012).

Figure 5 shows PV powers in the MPPT operation mode of each topology for five irradiances as 1000, 900, 850, 750, and 700. Zoom in view figures illustrates the transient conditions which correspond to irradiance changes. As seen from the figure, the TLBC excels with energy extraction performance as well as the response time.

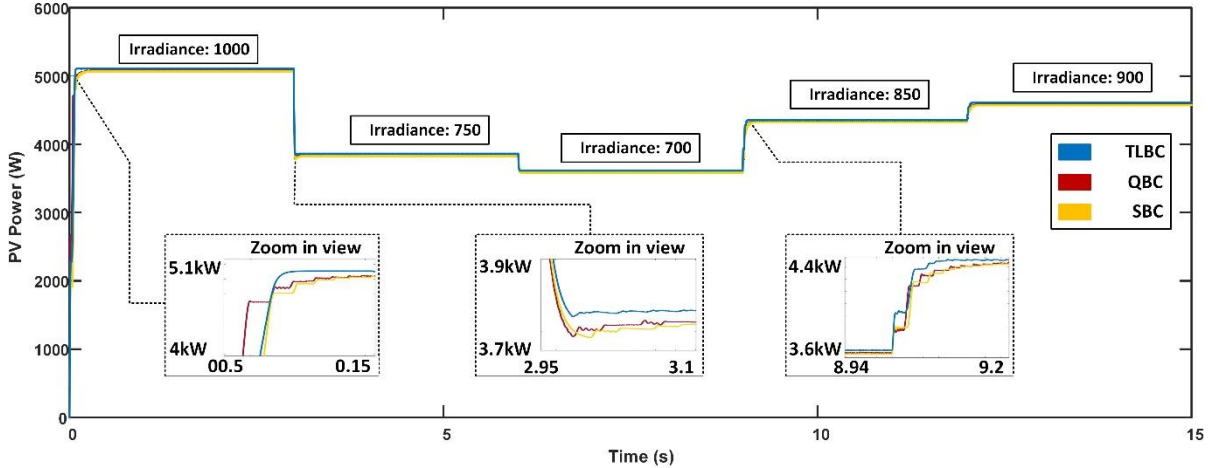


Figure 5. PV power analyzes

DC-link voltage and DC-link voltage ripple in MPPT operation mode of each topology for five irradiances have been shown in Figure 6. While TLBC is the best converter in terms of DC-link voltage ripple, QBC has the worst result.

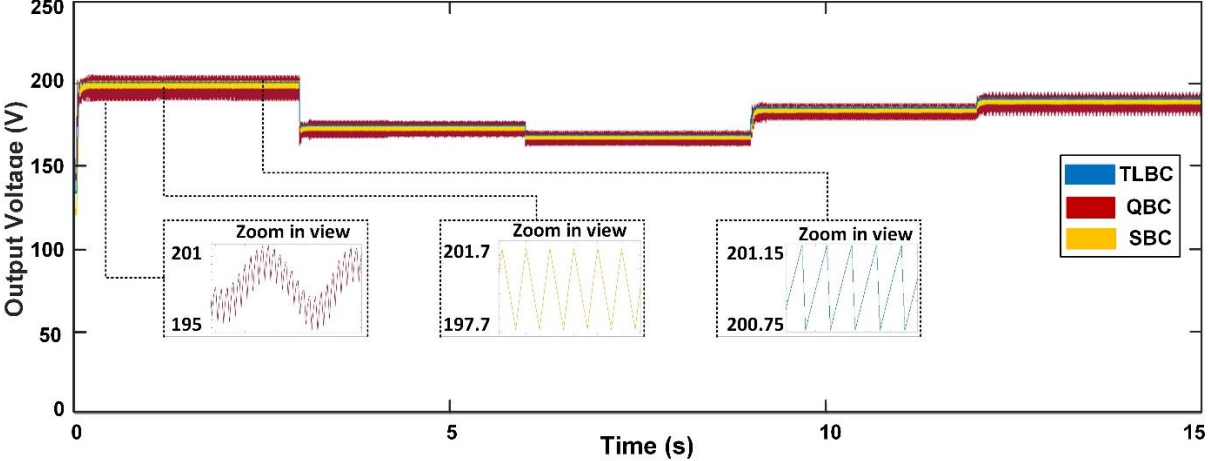


Figure 6. DC-link voltage analyzes

Output current and output current ripple in the MPPT operation mode of each topology for five irradiances are illustrated in Figure 7. While QBC has the worst result in terms of output current

ripple, TLBC excels with the advantage of low output current ripple.

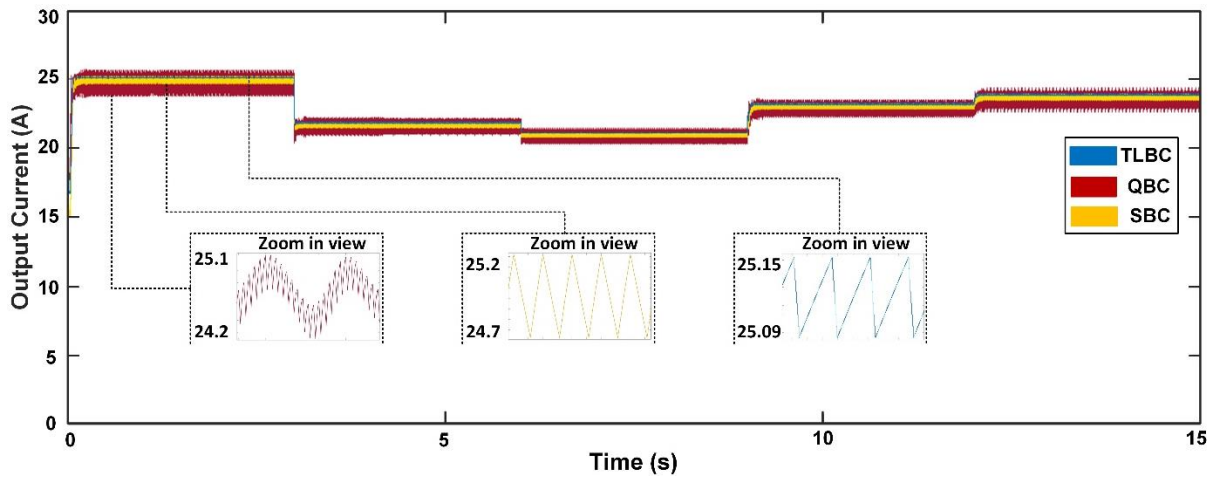


Figure 7. DC-link current analyzes

5. Conclusion

Renewable energy sources (RESs) have intermittent output power as well as low output voltage, therefore they are usually integrated with high voltage gain DC-DC converters to extract maximum energy and provide high gain at the output. The main goals of the emerging DC-DC converters are to extract maximum energy from PV panel and to provide high voltage gain. In this study, three different high voltage gain DC-DC converters have been designed and simulated for PV applications. Also, MPPT performance benchmarking of these converters has been presented. The power extraction capabilities by employing the P&O algorithm, efficiencies, and voltage gains of the related topologies have been investigated under different irradiance conditions. The performance results of each converter have been captured from the same proof-of-concept model of a 5.11 kW PV-powered system modelled in the MATLAB/Simulink. The performances of DC-DC converter topologies have been evaluated under different irradiances as 1000, 900, 850, 750, and 700. As a result, TLBC excels with the aspects of extracting maximum power from PV as well as performing the highest efficiency in comparison with other topologies. Although SBC and QBC lag behind TLBC in terms of maximum power output, they have high efficiency. As consequence, TLBC has been performed the best results for each aspect.

In PV applications, topology selection should be performed considering the design parameter and special purpose. For this reason, design parameters such as weight, size, frequency, and temperature and power play critical roles in the application. Since the SBC includes coupled inductor as a magnetic element, the size of converter can increase and efficiency can decrease in low switching frequency application. TLBC can select for the application which efficiency is important. However, it has a restriction in voltage gain capability in comparison with the other topologies. As for QBC, it can be used for in applications which is not sensitive for output ripple.

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author's is equal.

**This article is the full-text version of the paper that was presented and published abstract in the ICENAS Conference 2021.

References

- Altin N., Ozturk E.. Maximum power point tracking quadratic boost converter for photovoltaic systems. Proceedings of the 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 30 June–2 July 2016, Romania
- Evran F., Aydemir MT. Isolated high step-Up DC-DC converter with low voltage stress. *IEEE Transactions on Power Electronics* 2014; 29(7): 3591–3603
- Forouzesh M., Siwakoti YP., Gorji SA., Blaabjerg F., Lehman B. Step-up DC-DC converters : A comprehensive review of roltage-boosting techniques, and applications. *IEEE Transactions on Power Electronics* 2017; 32(12): 9143–9178.
- Ganjavi A., Ghoreishy H., Ahmad AA. A novel single-input dual-output three-level DC-DC converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2018; 65(10): 8101-8111.
- Guo Z., Zarghami M., Hou S., Chen J. Model predictive control for three-level boost converter in photovoltaic systems. 2017 North American Power Symposium, 17-19 September 2017, Morgantown
- Hernández-Callejo L., Gallardo-Saavedra S., Alonso-Gómez V. A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy* 2019; 188(2019): 426-440.
- Hu R., Zeng J., Liu J., Guo Z., Yang N. An ultrahigh step-up quadratic boost converter based on coupled-inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics* 2020; 35(12): 13200–13209.
- İnci M., Büyük M., Savrun MM., Demir MH. Design and analysis of fuel cell vehicle-to-grid (FCV2G) system with high voltage conversion interface for sustainable energy production. *Sustainable Cities and Society* 2021; 67: 102753.
- Karabacak M. A new perturb and observe based higher order sliding mode MPPT control of wind turbines eliminating the rotor inertial effect. *Renewable Energy* 2019; 133: 807-827.
- Kesilmiş Z., Karabacak MA., Aksoy M. A novel MPPT method based on inflection voltages. *Journal of Cleaner Production* 2020; 266: 121473.
- Li G., Jin X., Chen X., Mu X. A novel quadratic boost converter with low inductor currents. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications* 2020; 5(1): 1–10.
- Mohamed HE., Fardoun AA. High gain DC-DC converter for PV applications. *International Midwest*

Symposium on Circuits and Systems, 16-19 October 2016, Abu Dhabi

- Park KB., Moon GW., Youn MJ. Nonisolated high step-up stacked converter based on boost-integrated isolated converter. *IEEE Transactions on Power Electronics* 2011; 26(2): 577–587.
- Raghavendran S., Kumar KS., Tirupathi A., Chittibabu B. An improved three-level DC-DC boost converter for renewable energy systems with high gain. 3rd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Clean Energy Technologies, 5-7 March 2021, Shillong, Meghalaya, India
- Salman S., Ai X., Wu Z. Design of a P-&O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system. *Protection and Control of Modern Power Systems* 2018; 3(25): 1-8.
- Savrun MM., Atay A. Multiport bidirectional DC-DC converter for PV powered electric vehicle equipped with battery and supercapacitor. *IET Power Electronics* 2020; 13(17): 3931–3939.
- Schmitz L., Martins DC., Coelho RF. Comprehensive conception of high step-up DC-DC converters with coupled inductor and voltage multipliers techniques. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 2020; 67(6): 2140–2151.
- Suntio T., Kuperman A. Maximum perturbation step size in MPP-tracking control for ensuring predicted pv power settling behavior. *Energies* 2019; 12: 3984
- Wang Y., Qiu Y., Bian Q., Guan Y., Xu D. A single switch quadratic boost high step up dc-dc converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2019; 66(6): 4387-4397.
- Wijeratne DS., Moschopoulos G. Quadratic power conversion for power electronics: principles and circuits. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 2012; 59(2): 426-438.
- Yang D., Duan B., Zhang C., Shang Y., Song J., Bai H., Su Q. High-efficiency bidirectional three-level series-resonant converter with buck-boost capacity for high-output voltage applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 2021; 7(3): 969-982.
- Yazıcı İ., Yaylaçlı EK., Cevher B., Yalçın F., Yüzkollar C. A new MPPT method based on a modified Fibonacci search algorithm for wind energy conversion systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2021; 13: 013304



İklim Değişikliğine Bağlı Faktörlerle (Yüksek CO₂, Yüksek Sıcaklık ve Kuraklık) Değişen Yağış ve Sıcaklık İklim Modeli İlişkisinin Türkiye'de Buğday Üretimine Etkisi

Tefide KIZILDENİZ^{1*}, Taha Kutay AYDIN², Sidar GÖLER³, Buse TUNA⁴

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Biosystem Engineering Department, 51240 Niğde, Turkey

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Genetic Engineering, 51240 Niğde, Turkey

³Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Genetic Engineering, 51240 Niğde, Turkey

⁴Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Genetic Engineering, 51240 Niğde, Turkey

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5627-1307>

² <https://orcid.org/0000-0002-4579-6554>

³ <https://orcid.org/0000-0002-5881-5945>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-4173-4700>

*Sorumlu yazar: tefidekizildeniz@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.02.2022

Kabul tarihi: 15.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İklim değişikliği

Buğday

Buğday verimi

Buğday büyüme ve gelişmesi

Triticum spp.

Yüksek CO₂

Yüksek sıcaklık

Kuraklık

ÖZ

Buğday (*Triticum spp.*), dünya nüfusuna bitkisel kaynaklı gıdaların sağladığı toplam kalorisinin yaklaşık %20'sini sağlayan, uygun besin değeri, depolama ve işleme tesisleri nedeniyle yaklaşık 50 ülkenin temel gıdası ve Türkiye'nin gıda güvenliğinde önemli bir yere sahip olan bir tarım ürünüdür. Buğdayın verimi, kalitesi ve büyümesi çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle buğday üretimi, mevsimsel yağış dağılımına, yağış miktarına, sıcaklık ve kuraklık gibi iklim koşullarına bağlıdır. Küresel iklim değişikliğinin yol açtığı aşırı hava olaylarının sıklığının ve yoğunluğunun artmasıyla birlikte buğday üretimine yönelik riskler giderek belirginleşmiştir. En kötü senaryoya göre buğday üretiminin 2100 yılında ortalama %23 oranında azalması beklenmektedir. Bu sorunu çözmek için iklim değişikliğinin buğday üzerindeki etkilerine yönelik araştırmalar yapılmalı ve buğday üretimini arttırmaya yönelik stratejiler geliştirilmelidir. Bunlar, iklim değişikliğine uyum stratejileri, düşük karbon emisyon teknolojileri ve kapasite geliştirme gibi stratejilerdir. Bu çalışmanın amacı iklim değişikliğinin buğday üzerindeki etkileri sonucunda, buğdayda meydana gelen olumsuzlukların giderilebilmesi için iklim değişikliği senaryoları ile durumun tespit edilmesi ve sonrasında, uyum ve azaltım stratejileri etkin bir şekilde uygulanarak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesidir.

Impact of Altered Precipitation and Temperature Climate Pattern Relation with Climate Change-Related Factors (High CO₂, Elevated Temperature and Drought) on Wheat Production in Turkey

Research Article

Article History:

Received: 22.02.2022

Accepted: 15.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

ABSTRACT

Wheat (*Triticum spp.*), that is the staple food of approximately 50 countries, due to its appropriate nutritional value, storage and processing facilities, also providing approximately 20% of the total calories provided by plant-based foods to the world population, and has a relevant importance in the food security of Turkey, is an agricultural crop. Wheat yield, quality, and growth are all affected by environmental factors. Therefore, wheat production is

Climate change
Wheat
Wheat yield
Wheat growth and development
Triticum spp.
High CO₂
Elevated temperature
Drought

affected by climate factors such as seasonal precipitation distribution, precipitation amount, temperature, and drought. With the increasing frequency and intensity of extreme weather events caused by global climate change, the risks to wheat production have become increasingly evident. In a study, it is estimated that, wheat yield in Turkey will decrease by about 8% until 2100, according to the average scenario. To solve this problem, research should be carried out on the effects of climate change on wheat and strategies for increasing wheat production should be developed. These are the strategies such as climate change adaptation strategies, low carbon emission technologies and capacity building can be developed. The aim of this study is to determine the situation with climate change scenarios in order to eliminate the negative impacts on wheat production as a result of the effects of climate change, and then to minimize the negative effects of climate change by applying adaptation and mitigation strategies effectively.

To Cite: Kızıldeniz T., Aydın TK., Göler S., Tuna B. Impact of Altered Precipitation and Temperature Climate Pattern Relation with Climate Change-Related Factors (High CO₂, Elevated Temperature and Drought) on Wheat Production in Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1320-1333.

1. Introduction

Wheat (*Triticum* spp.) ranks as first crop in the world in terms of cultivation and production among the cultivated plants used in human nutrition. This is due to its wide adaptability in terms of different agro-ecological zones. In addition, wheat grain is a staple grain of approximately 2.5 billion people in 89 countries due to its suitable nutritional value, storage and processing facilities (CGIAR, 2022). Wheat demand will increase by 50% by 2050, with a worldwide population of 9 billion or more and as many as 6.3 billion citizens purchasing convenience food (CGIAR, 2022). Wheat provides about 20% of the total calories provided by plant-based foods to the world population. This rate is 53% in Turkey. It is thought that, the world's population will reach up to 10.2 billion after 30 years, in 2050 (Doğan and Kan, 2019). Therefore, according to FAO's data, global wheat requirement is projected to rise by 60% until 2050 (FAOSTAT, 2017). For this reason, wheat cultivation is done in many parts of the country. Table 1 demonstrates the annual wheat production of the provinces with the most wheat production in Turkey.

Table 1. Average wheat production (Mt) by the provinces from the most wheat production of Turkey between 2016 to 2020, (Ministry of Agriculture and Forestry, 2020).

Cities of Turkey	2016	2017	2018	2019	2020
Konya	2,045,298	2,192,410	2,037,936	1,886,131	1,271,728
Ankara	1,205,676	1,090,500	1,093,264	857,020	981,611
Tekirdağ	825,714	882,674	637,685	738,444	857,020
Diyarbakır	1,151,524	1,129,383	1,038,026	1,030,268	757,671
Sivas	578,709	569,158	624,119	523,687	530,767
Adana	621,872	690,411	680,000	502,562	752,378
Eskişehir	580,788	546,296	531,121	497,094	501,362
Edirne	522,970	505,460	494,001	431,658	497,094
Kırklareli	475,796	552,431	419,000	442,933	467,149
Çorum	607,956	581,078	515,031	557,904	442,933
Şanlıurfa	917,545	1,044,645	860,601	419,371	790,319
Yozgat	766,657	699,052	670,513	553,601	464,295

Table 2. Total average wheat production (Mt) from 2016 to 2020 in Turkey (Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey, 2020)

Wheat production in Turkey by year	Wheat production (Mt)
2016	757
2017	762
2018	733
2019	762
2020	766

According to this table, total average wheat production in Turkey increased overall between 2016 and 2020 and decreased in 2018. The temperature increase and natural disasters were limited planting areas and resulted in this decrease in 2018 (ZMO, 2018). Turkey has 92 thousand hectare of land of wheat in 2000. In 2017, 77 000 000 acres of wheat were planted. Wheat imported 49 million tons by Turkey in this process affected product quality and shortenings with increasing temperatures in phenological periods with monitoring and investigating the seasonal timing of life cycle of wheat crop (Dalu et al., 2013). The temperature increase due to climate change continues with all its intensity. As a result, possible yield losses for wheat in developing countries are expected to be around 20-30%. The authors determined that, there would be a decline in wheat crop yield due to the fact that, the growth period, for example, the flowering and ripening times, was pulled forward by an average of 12 days due to the extreme temperatures that, the wheat would encounter. The amount of water required by the wheat plant during the growing season varies according to the development period. Therefore, the amount and distribution of plant growth period affects the precipitation yield, the yield of wheat from year to year depending on rainfall seen major changes in Turkey. For this reason, it often causes serious problems in wheat production in dry agricultural areas. As a result, the most limiting factor in wheat yield is the amount of precipitation and the distribution of precipitation during the year. In summary, wheat production is sensitive to climatic conditions. Wheat production and wheat prices, which have an important place in food security, may vary depending on climatic conditions.

2. Material and Methods

In order to assess climate-change related factors effects on wheat production, the study was designed in three section; (i) literature review for current available specific climate-change related factors' (high CO₂, elevated temperature and drought) studies on wheat production yield and quality parameters in Turkey, (ii) last 50-year precipitation and temperature climatic data collection and analyses from national meteorological station from Turkish State Meteorological Service (MGM, 2020), and (iii) last

5-year wheat production and yield data collection and analyses from national statistical data from Turkish Statistical Institute (TÜİK, 2022).

In Table 3, the studies of climate change-related factors (high CO₂, elevated temperature and drought) by yield and quality parameters on wheat production in Turkey were listed. These specific studies by climate change-related factors may were used as indicators of effects of changed climatic pattern on wheat production.

3. Results

3.1. Wheat Production and Quality Parameters of Climate Change

Assessment of the effects of global climate change on wheat production is essentially based on modeling that, uses limited information on plant responses. Several estimates of the effects have been made. In the previous report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC) reveals a significant uncertainty in assessing the effects of 2 times the pre-industrial CO₂ and 4 °C rising temperature. These authors report that, variation in estimated yield effects, methods of analysis and products across countries makes it difficult to generalize results for other regions and for different climate scenarios. However, they experimentally concluded that, the production of wheat would decline significantly. Generally, modeling examinations envisage that, wheat will be grown at higher latitudes (ie substantially more north) and production will decline in areas closer to the equator (Gitz et al., 2016). In a study conducted in Turkey until 2060, it was simulated that, cereals will decrease due to the effect of a CO₂ concentration of 550 mmol mol⁻¹of and a 4°C increase in global agricultural production. Studies on the effects of wheat on climate change of some factors related to climate change in Turkey have been investigated (Table 3).

In this section, we first evaluated the responses of the basic functions to the increase in CO₂, temperature and drought, which are the most important aspects of global climate change. These are then; it is associated with changes in biomass production and grain yield observed when wheat is grown at high CO₂ and increased temperature levels (Tansi, 2019).

Table 3. List of studies on climate change impacts of wheat by some of the climate change-related factors in Turkey.

Parameter	Factors related to climate change	Source
Wheat Yield	High CO ₂	Bayraç et al. (2016)
		Tansı (2019)
		Özdoğan M. (2011)
		Kapur et al. (2012)
Wheat Yield	High Temperature	Asif et al. (2017)
		Bozoglu et al. (2019)
		Doğan et al. (2019)
		Vanli et al. (2019)
Wheat Photosynthesis Rate	High CO ₂	Temur et al. (2017)
		Sayılğan (2016)
		Saadi (2014)
		Yavaş et al. (2016)
Wheat Photosynthesis Rate	High Temperature	Steduto et al. (1986)
		Asif et al. (2017)
		Keser et al. (2017)
		Tansı (2019)
Wheat Stomatal Conductivity	High CO ₂	Yano et al. (2007)
		Koç et al. (2003)
		Ulukan (2021)
		Özdoğan (2011)
Wheat Stomatal Conductivity	High Temperature	Asif et al. (2017)
		Özdoğan (2011)
		Coskun et al. (2011)
		Kobata et al. (2012)
Wheat Stomatal Conductivity	High Temperature	Tanss (2019)
		Unal (2020)
		Öztürkci et al. (2019)
		Sharma et al. (2015)
Wheat Quality	High CO ₂	Bahar et al. (2019)
		Barutçular et al. (2017)
		Özdoğan (2011)
		Chandio et al. (2021)
Wheat Quality	High Temperature	Asif et al. (2017)
		Tayyar (2010)
		Barutçular et al. (2016)
		Ereku et al. (2019)
Wheat Growth	Drought	Yano et al. (2007)
		Koç et al. (2003)
		Bagci et al. (2007)
		Chandio et al. (2021)
Wheat Growth	High Temperature	Keser et al. (2017)
		Asif et al. (2017)
		Özdoğan (2011)
		Yavas et al. (2012)
Wheat Growth	High Temperature	Kobata et al. (2012)

3.2. High CO₂ Effects on Wheat Yield and Quality

The most important cause of global warming is CO₂ emissions. In this work the impacts of increasing carbon dioxide effects on the wheat yield and development were researched. Increased CO₂ concentration in the atmosphere, growth of wheat crop (high CO₂ concentration and low temperature, low light intensity, temperate zone plants) have been found to have positive effects. Increasing CO₂ provides the plant to usage the excess water and energy collects in its leaves, causing a serious increase in wheat yield. As a result, wheat grows and develops faster as the CO₂ amount increases (Bayraç and Doğan, 2016). Carbon dioxide is also one of the heat-trapping greenhouse gases that, assist to climate change. Elevated greenhouse gases in the atmosphere are seen biggest cause of climate changes (Eruygur and Özokcu, 2016). Greenhouse gases keep the heat from the sun to the atmosphere, causing the atmospheric temperature to rise. The greenhouse effect in IPCC is attributed to human activities (Doğan et al., 2018). Field greenhouse gas emissions to the atmosphere are increasing due to reasons such as the increase in fossil fuel use, consumption habits, changes in land use, urbanization, reduction of forests and cement production. With the industrial revolution, the rate of CO₂ resulting from greenhouse gases in the atmosphere increased by 30% from 280 ppm to 380 ppm (Temur, 2017). The proportion of methane, another greenhouse gas, in the atmosphere has increased by 151% since the industrial revolution (Temur, 2017). The proportion of nitrogen monoxide from greenhouse gases in the atmosphere has increased by 17% since the industrial revolution. Ozone depletion is also one of the most critical events that, cause climate change. As a result, wheat grows and develops faster as the CO₂ amount increases (Temur, 2017).

3.3. High Temperature Effects on Wheat Production and Quality

The effects of temperature on wheat phenology are quite different from the effects of extreme temperatures. Extreme cold can kill wheat, or late frosts can promote infertility. Temperatures above freezing temperature (lower than 5 °C) and extreme temperatures (more than 30 °C) during flowering may damage pollen formation, which may reduce the yield while ultimately reducing the grain set. There is a wide range of variations in sensitivity to this effect among cultivars. Global climate change will likely lead to lower yields due to extreme temperatures, as global climate change may change the frequency of extreme temperatures, especially during short periods when plant growth is susceptible. The ability to withstand such conditions requires the breeding and selection of varieties that, are better adapted. Higher temperatures shorten all development cycles. As such, there is less time left to receive resources such as light, water and nutrients, and it should come as no surprise that, biomass production decreases with increasing temperature. The magnitude of the impact depends on which growth cycle is affected. Because shortening the highest growth ratio period will make a bigger impact on the ultimate biomass production rather than shortening the initial growth cycles. In a study in England, applying a constant improve of 3.5 °C during the whole growth season, the final biome of winter wheat decreased by 16% and the grain yield by 35%, but the early growth period was greatly stimulated. Generally, in

multi-storey tunnel trials where the ambient temperature changes differently, the effects of rising temperature on the biomass have been found to be more negative (possibly because the changes tend to be greater at the end of the season). However, this varied greatly between seasons and varieties. The negative impact of increasing temperature on grain yields tends to be bigger than its impact on biomass. In other words, the reaping index decreases as the temperature increases. This is due to the special sensitivity of the grain yield to the duration of the grain filling time. The 1 °C improve in temperature pending the wheat filling term shortens the time by around 5% and proportionally decreases the crop index and seed yield. High temperatures during flowering can cause partial infertility, which reduces yields.

The effects of the summer wheat variety on the minaret were carried out in 9 different regions using open-top chambers (OTCs). This statistical analysis reveals that, for every 1 °C increase during the growing season (from emergence to maturity), there is a 6 % reduction in grain. This effect can be well predicted by simulation models the only effect of temperature on phenology (Tansi, 2019). The average annual temperature in Turkey in 1970 increased from 13.5 °C to 14.4 °C in 2020. The average annual rainfall was 500 mm in 2020 from 530 mm in 2000 (Turkish State Meteorological Service, 2020). Studies on claiming elements and agricultural interactions remain popular in Turkey as well as in the world. Studies have been carried out nationwide and regional on this issue (Doğan and Kan, 2019). With these studies, the influence on changes in temperature and precipitation on wheat production were investigated using various modeling methods. Between 1970 and 1999, the impact of temperature and precipitation changes in the Aegean Region on the wheat production was investigated. In the investigation, four diverse climate schemes were planned and evaluated. These climate scenarios cover decreases of 5% and 10% in monthly amount of rainfall and increases of + 1 °C and + 2 °C in average monthly temperatures. Accordingly, in April and May there was a 10% decrease in the amount of precipitation, while the yield decreased by 22.9 kg ha⁻¹ (Doğan and Kan, 2019). An investigation was organized to see how climate changes impact crop production in Turkey's southeastern regions. The model of CERES crop was calibrated in this study, which used a total of eight farms, including four farm calibrations and four other farms for evaluation. The model of CERES wheat crop is an exhaustive computer model extensively used for effect of climate change studies. Climate change schemes have been developed for middle 21st century and the late 21st century for the working in areas called Islahiye and also Nurdagi. The model of calibration conclusions indicated a nice fit in the error range of only 1% to 11% between simulated and examined yield. Climate change in the future estimates based as a result of this study showed that, by the middle of the century the highest temperature anticipated to rise among 1.6 °C and 2.3 °C. It also showed that, the lowest temperature anticipates to rise among 1.0 °C and 1.5 °C. Climate change in the future estimates also obtained as a result of this study showed that, by the late of the century the maximum temperature will rise 2.0 °C and the minimum temperature will rise 1.8 °C. These results demonstrated that, a future increase the temperature reduces wheat output by 16.3% by the middle of the century and by

16.8% by the late of the century. In addition, these results are in Islahiye and Nurdagi demonstrated that, a future increase in temperature would reduce wheat outputs by 13.0% by the middle of the century and by 14.4% at the end of the century (Vanli et al., 2019).

In Turkey, using data from 81 provinces between 1995 and 2014, a study was carried out with panel data estimator methods, climatic determinants of wheat yield per hectare. In this study, wheat productivity data obtained from the Turkish Statistical Institute, the province-wide average annual temperature, the maximum temperature in July and August, annual climate data such as total rainfall and average annual humidity from the General Directorate of Meteorology were used for 77 provinces. Econometric estimates were carried out by panel regression method to specify the influence on climate change on wheat yield. According to these estimates, an increment of approximately 13% is expected for the Southeastern Anatolia Region by 2100 at the maximum temperatures of August. An increment of approximately 13% is expected in the maximum temperatures of July by 2100 for the same region. Due to these forecasts, it is estimated that, there will be 7.3% decrease in wheat outputs in the that, region in 2100 (Temur et al., 2017).

In the average scenario, it is estimated that, by 2100, wheat yields in seven regions will decrease by about 8%. On the other hand, in the worst-case scenario, wheat yields in 2100 are predicted to decrease by an average of around 23%. Therefore, the statistically significant upper limit of the decrease is around 23%. However, the statistically significant lower limit can be as much as 1% in the best-case scenario (Temur et al., 2017). The precipitation in Turkey in the last 50 years and the temperature trends in the last 50 years are given in Figure 1 and Figure 2, respectively. As figure 1 shows, the average temperature in Turkey is increasing. As figure 2 shows, the average amount of precipitation in Turkey is irregular.

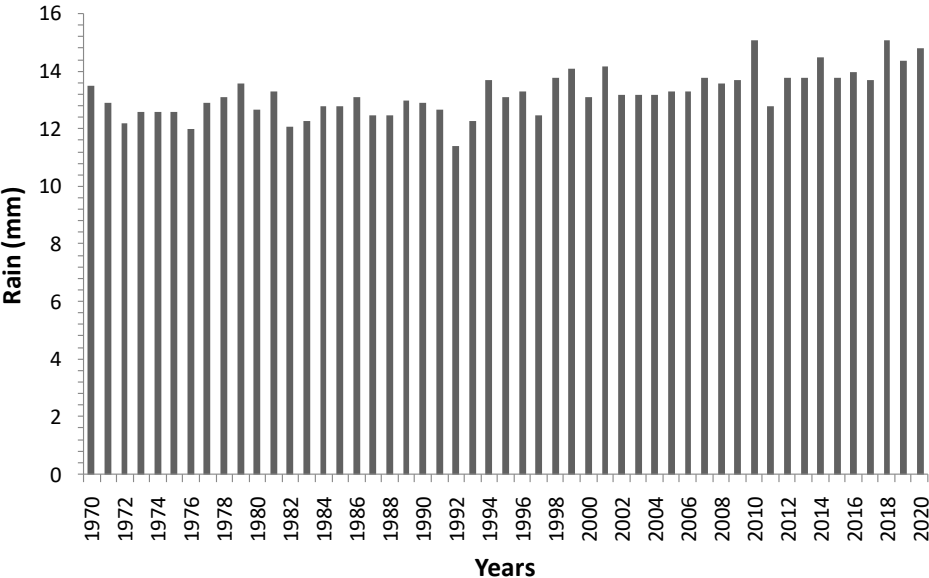


Figure 1. Average annual precipitation (mm) between 1970 and 2020 in Turkey (Turkish State Meteorological Service, 2020)

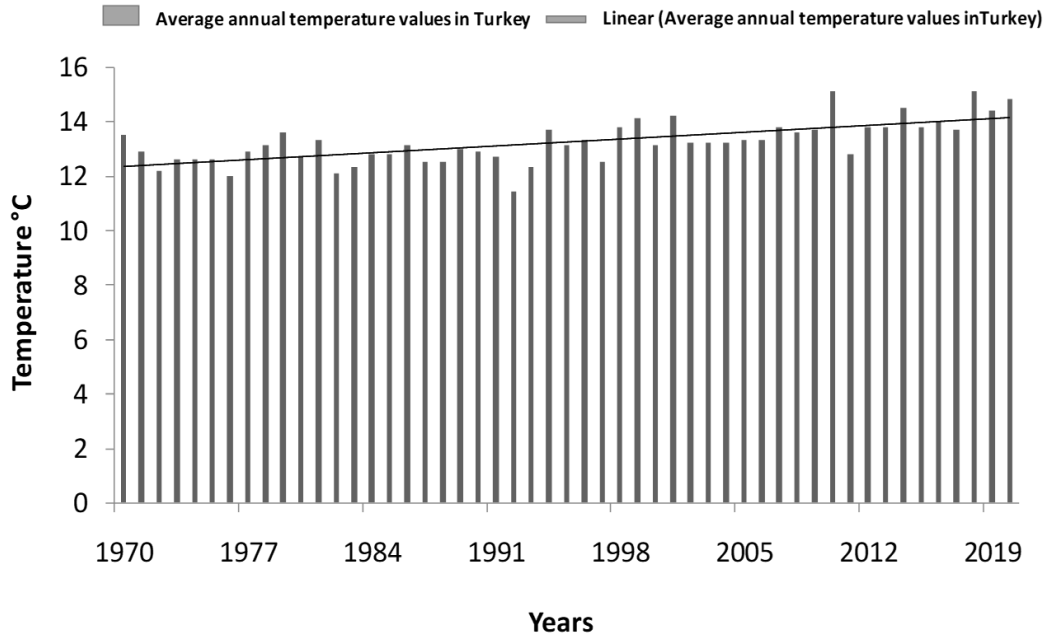


Figure 2. Average annual temperature distribution and trend between 1970 and 2020 in Turkey (Turkish State Meteorological Service, 2020)

Among the effects of climate changes on wheat efficiency, one of the reasons that, most affect wheat yield is high temperature rise. It is estimated that; wheat may be damaged as temperatures rise. Temperature changes the growth and growth rates of plants, including grain filling and late reproduction. Changing climatic conditions cause wheat to be unable to adapt to the environment, and therefore wheat is under stress. Wheat is the most important grain in Turkey, but due to the increasing temperature in Turkey, wheat can come under stress, which leads to a serious decrease in yield. The damage caused by stress factors alters resting on the type, tolerance and adaptability of the plant. Therefore, the determination of suitable wheat varieties and the development of wheat varieties is an important step to solve this threat in production, even to achieve high yields under high-temperature stress (Saadi et al., 2015; Sayılğan, 2016).

3.4. Drought Effects on Wheat Yield and Quality

Drought is the environmental stresses. It is that, important factor negatively affecting crop production in a big part of the world's agricultural field. Wheat production is generally carried out in dry agricultural areas and drought often causes serious problems in wheat production in these areas. A significant part of the annual precipitation in dry farming areas falls between November and April. Although there are dry periods in different growth periods due to the insufficient and irregular distribution of rainfall, the drought stress, which generally begins close to flowering, increases its effect during the grain filling stage. In arid situations, the water potential of the soil first and then the plant declines, and in later phases, a decrease in turgor pressure, stomata closure, a decrease in leaf

growth and a decrease in photosynthesis rate occur (Monti et al., 1986). The impact of drought stress on wheat yield is effective during the development period on wheat crop depending on the severity and duration of the drought. The main reason for the decrease in yield is the negative effect of drought on spike formation and post-flowering leaf area. While the drought stress during the spike forming period causes a reduction in grains number in the spike, the drought after flowering limits the weight increase in the grain. The drought stress occurring 10 days before or close to flowering affects the grain yield of wheat more negatively than the drought stress in other growth periods. Drought in early development periods; It causes earlier flowering, decrease in plant height, leaf area and number of fertile siblings, while drought between stalling and flowering periods; Fertile spike, fertile spikelet in the spike, and the number of fertile flowers in the spikelet, and post-flowering drought stress mainly restrict the leaf area period and the impact of grain drought on the development, efficiency of winter wheat results in a decrease in weight (Fischer et al., 1979). The drought stress throughout the grain filling stage also causes loss of grain set at the top and bottom of the spike by rising intra-spike competition in terms of participating insufficient assimilates (Steduto et al., 1986). Osmotic preservatives and fertilizer (nitrogen, potassium, manganese, zinc, etc.) to be applied to the wheat crop from the outside. Its application promotes the development of wheat and reduces the impact of drought on the crop (Yavaş et al., 2016).

4. Conclusion

Climate change affects wheat production. The atmosphere, hydrosphere and lithosphere that, make up the climate system have started to deteriorate, the natural balance has deteriorated, and the consequences of this have affected the climate. Studies conducted in Turkey, showing some uncertainty of the deterioration in the emerging climate with a warming global dimension and despite taking measures to counter them indicate future will continue this uncertainty and could lead to the emergence of problems. If high-temperature changes and precipitation continue to decrease in Turkey, wheat yields will decrease significantly and agricultural droughts will occur. Due to some effects of climate changes, farm land in Turkey is expected to decrease by 10%, increase in temperature and decrease in precipitation. It is necessary to expand its sustainable use within the balance of protection and use. Future weather forecasts and changes in the necessary weather conditions should be determined, as well as appropriate wheat varieties should be used and grown taking into account climate change factors such as increased CO₂ emissions, high temperature, average rainfall and drought. Therefore, this study is in same line with others to conclude as harmful human activities should be avoided, measures should be taken to reduce the level of CO₂ release (Doğan and Karakaş, 2018). Some measures like replacement of plant mixtures from durable plants to deep-rooted plants, use of residue-leaving planting systems that, reduce soil processing, and changing terrain use from yearly products to perennially products can be taken. In addition, local drought act schemes should be arranged and operated. Water resources should be applied methodically and sustainfully (Bozoglu et

al., 2019). Turkey should pay attention to reducing CO₂ emissions for agricultural and economic growth (Regniere et al., 2012). As a result, the effects of climate change on wheat in order to minimize the use of sustainable agricultural areas should be provided, reducing greenhouse gas emissions, increasing CO₂ emissions, high temperature, drought and climate change factors, such as average rainfall should be taken into consideration also should refrain from harmful human activities (Akalin, 2014).

Ethical Approval

Ethical approval was not required for this study.

Consent to Participate

Consent to participate is not applicable.

Consent to Publish

All authors provide a consent to publish this paper.

Authors Contributions

TK contributed the conceptualization, validation, data analysis, writing, visualization, reviewing and editing. TKA, SG and BT contributed to the conceptualization, methodology, data collection and analysis, drafting and manuscript.

Funding

This research was not supported by any particular funds from governmental, commercial, or non-profit funding sources.

Competing Interests

The author declares that, there are no conflicts of interest.

Availability of data and materials

Relevant data are available from the corresponding author upon reasonable request.

References

- Akalin M. İklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkileri: Bu etkileri gidermeye yönelik uyum ve azaltım stratejileri. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2014; 7(2): 351-377.
- Asif M., Yilmaz O., Ozturk L. Potassium deficiency impedes elevated carbon dioxide-induced biomass enhancement in well watered or drought-stressed bread wheat. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 2017; 180(4): 474-481.

- Bagci SA., Ekiz H., Yilmaz A., Cakmak I. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science* 2007; 193(3): 198-206.
- Bahar B., Yildirim M., Barutcular C. Relationships between stomatal conductance and yield components in spring durum wheat under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 2009; 37(2): 45-48.
- Barutcular C., El Sabagh A., Koc M., Ratnasekera D. Relationships between grain yield and physiological traits of durum wheat varieties under drought and high temperature stress in Mediterranean environments. *Fresen. Environ. Bull* 2017; 26(6): 4282-4291.
- Barutcular C., Yildirim M., Koc M., Dizlek H., Akinci C., El Sabagh A., Tanrikulu A. Quality traits performance of bread wheat genotypes under drought and heat stress conditions. *Fresen. Environ. Bull* 2016; 25(12a): 6159-6165.
- Bayraç HN., Doğan E. Türkiye’de iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine etkileri. *Eskişehir: İİBF Dergisi* 2016; 11(1): 23-48.
- Bozoglu M., Başer U., Eroglu NA., Topuz BK. Impacts of climate change on Turkish agriculture. *Journal of International Environmental Application and Science* 2019; 14(3): 97-103.
- CGIAR. Research Program on wheat. Accessed: 12 January 2022; <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/89829/WHEAT-Web.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Chandio AA., Gokmenoglu KK., Ahmad F. Addressing the long-and short-run effects of climate change on major food crops production in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 1-17.
- Coskun Y., Coskun A., Demirel U., Ozden M. Physiological response of maize ('Zea mays'L.) to high temperature stress. *Australian Journal of Crop Science* 2011; 5(8): 966-972.
- Dalu JD., Baldi M., Dalla Marta A., Orlandini S., Maracchi G., Dalu G., Mancini M. Mediterranean climate patterns and wine quality in North and Central Italy. *International Journal of Biometeorology* 2013; 57(5): 729-742.
- Dogan HG., Karakas G. The effect of climatic factors on wheat yield in Turkey: A panel DOLS approach. *Fresenius Environ Bull* 2018; 27: 4162-4168.
- Doğan HG., Kan A. The effect of precipitation and temperature on wheat yield in Turkey: a panel FMOLS and panel VECM approach. *Environment, Development and Sustainability* 2009; 21(1): 447-460.
- Ereku O., Kautz T., Ellmer F., Turgut I. Yield and bread-making quality of different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown in Western Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science* 2009; 55(2): 169-182.
- Eryugur H., Özokcu S. The effects of climate change on wheat yield in Turkey: A heterogeneous panel study. *Economic Approach* 2016; 27.

- FAOSTAT. Role of sustainable wheat production to ensure food security in the CWANA region. Accessed: 9 January 2021, 2017; <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1060157/>
- Fischer RA., Wood JT. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield Associations with morphophysiological traits. *Aust. J. Agric. Res* 1979; 30: 1001-1020.
- Gitz V., Meybeck A., Lipper L., Young CD., Braatz S. Climate change and food security: risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report 2016; 110.
- Kapur B., Koç M., Özekici B. Artan CO₂ ve küresel iklim değişikliğinin Çukurova bölgesinde buğday verimliliği üzerine etkileri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2012; 28-34.
- Keser M., Gummadov N., Akin B., Belen S., Mert Z., Taner S., Ozdemir F. Genetic gains in wheat in Turkey: Winter wheat for dryland conditions. *The Crop Journal* 2017; 5(6): 533-540.
- Kobata T., Koç M., Barutçular C., Matsumoto T., Nakagawa H., Adachi F., Ünlü M. Assimilate supply as a yield determination factor in spring wheat under high temperature conditions in the Mediterranean zone of south-east Turkey. *Plant Production Science* 2012; 15(3): 216-227.
- Koç M., Barutçular C., Genç I. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in a Mediterranean environment. *Crop Science* 2003; 43(6): 2089-2098.
- Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey. Buğday. Accessed: 16 January 2021, 2020; <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021-Haziran%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Bu%C4%9Fday,%20Haziran-2021,%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf>
- Monti LM. Breeding plants for drought resistance: The problem and its relevance. *Drought Resistance in Plants. Meeting Held in Amalfi, 19 to 23 October 1986, Belgium, 1-8, 1986.*
- Özdoğan M. Modelling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier 2011.
- Öztürkci Y., Arpalı D. The effects of salicylic acid on the growth and some physiological properties of bread wheat varieties under drought stress. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2019; 9(3): 1737-1746.
- Régnière J., Powell J., Bentz B., Nealis V. Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: experimental design, data analysis and modeling. *Journal of Insect Physiology* 2012; 58(5): 634-647.
- Rodomiro O., Kenneth DS., Bram G., Raj G., Subbarao GV., Tomohiro B., Hodson D., Dixon JM., Ortiz-Monasterio JL., Reynolds M. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2008; 126(1-2): 46-58.
- Sameh Saadi MT. Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration irrigation requirements and yield. S. Saadi. *Agricultural Water Management US: Elsevier* 2014; 103-115.
- Sayılgan Ç. Küresel sıcaklık artışının buğdayda beklenen etkileri. *YYÜ Tar Bil* 2016; 439-447.

- Sharma DK., Andersen SB., Ottosen CO., Rosenqvist E. Wheat cultivars selected for high Fv/Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. *Physiologia Plantarum* 2015; 153(2): 284-298.
- Shah, NH., Paulsen, GM. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil* 2003; 257(1): 219-226.
- Steduto P., Alvino A., Magliulo V., Sisto L. Analysis of the physiological and reproductive of five wheat varieties under rainfed and irrigated conditions in Southern Italy. *Drought Resistance in Plants. Meeting Held in Amalfi, 19 to 23 October 1986, Belgium, 131-149, 1986.*
- Tansı V. İklim değişimine bitki ekosistem tepkileri: Buğday. Accessed: 23 January 2021, 2019; <http://www.angelfire.com/vt2/veyis/kitap/bugday.pdf>.
- Tayyar S. Variation in grain yield and quality of Romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. *Romanian Biotechnological Letters* 2010; 15(2): 5189-5196.
- Temur B. Küresel ısınmanın Türkiye'de tarım sektörü üzerine etkisi: bir ARDL modeli uygulaması, 2017; (Master's thesis, Anadolu Üniversitesi).
- TÜİK. Turkish Statistical Institute. Data Portal. Accessed: 27 April 2022; <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>.
- MGM. Turkish State Meteorological Service. Rainfall in Turkey by year. Accessed: 10 January 2021, 2020; <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx>
- MGM. Turkish State Meteorological Service. Temperature in Turkey by year Accessed: 10 January 2021, 2020; <https://mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/Turkiye-Ortalama-Sicaklik-2020.pdf>
- Ulukan H. Climate change and global warming effect (s) on wheat landraces: A general approach. In *Wheat Landraces* (pp. 169-191). Springer, Cham.; 2021.
- Unal BT. Transfer of the wheat heritage of Anatolia to future generations. In *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat* (pp. 283-291). Academic Press; 2020.
- Vanli Ö., Ustundag BB., Ahmad I., Hernandez-Ochoa IM., Hoogenboom G. Using crop modeling to evaluate the impacts of climate change on wheat in southeastern turkey. *Environmental Science and Pollution Research* 2019; 26(28): 29397-29408.
- Yano T., Aydın M., Haraguchi T. Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. *Sensors* 2007; 2297-2315.
- Yavas I., Unay A., Aydın M. The waterlogging tolerance of wheat varieties in western of Turkey. *The Scientific World Journal* 2012.
- Yavaş İ., Akgül HN., Ünay A. Bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını artırmaya yönelik uygulamalar. *Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 48-57.
- ZMO. Chamber of Agricultural Engineers. 'Buğday Raporu-2018. 2020; https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30125&sube=0. Accessed: 15 January 2021,

Anülüs Kanalda Hava-Hava Arası Nem Geçişinde Membranın Etkisinin İncelenmesi ve Kütle Transfer Eşitliklerinin Çıkarılması

Ertuğrul CİHAN¹, Barış KAVASOĞULLARI^{2*}, Hasan DEMİR³

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uzay Mühendisliği Bölümü, 58070, Sivas

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8657-2189>

²<https://orcid.org/0000-0002-6086-8923>

³<https://orcid.org/0000-0002-9278-9648>

*Sorumlu yazar: bkavasogullari@sivas.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 13.09.2021

Kabul tarihi: 12.02.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Membran

Anülüs kanal

Kütle transferi

Nemli hava

Bu çalışmada, anülüs kanalda hava-hava arasında nem geçişinde membranın etkisi incelenmiş, nemli hava-kuru hava akışkanları için matematiksel modelleme yapılmıştır. Oluşturulan modelin paralel ve karşıt akış tiplerinde COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak kütle transferi eşitlikleri çıkarılıp analizler gerçekleştirilmiştir. Sistemin MATLAB yazılımında sonlu farklar yöntemi ile aynı şartlarda modellenmesi yapılarak COMSOL yazılımında elde edilen sonuçların düşük bağıl hatayla doğrulaması yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre paralel ve karşıt akışta en yüksek Sherwood sayısı (Sh) sırasıyla yaklaşık 26 ve 28 olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, COMSOL yazılımında yapılan analizden elde edilen sonuçlar kullanılarak, her iki akış tipi için, belirlenen koşullarda (Reynolds sayısı, $Re=250-2000$, en-boy oranı, $L/D=4-128$ ve Schmidt sayısı, $Sc=0,68$), nemli ve kuru hava taraflarında Sh sayısı için yüksek hassasiyette eşitlikler elde edilmiştir.

Investigation of The Effect of Membrane on Air-Air Moisture Transfer in Annular Channel and Determination of Mass Transfer Equations

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 13.09.2021

Accepted: 12.02.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Membrane

Annulus channel

Mass transfer

Moist air

In this study, the effect of the membrane on the moisture transfer between air and air in the annulus channel was investigated, and mathematical modeling was made for moist air-dry air fluids. In parallel and counter flow types of the created model, mass transfer equations were determined and analyzes were performed using COMSOL Multiphysics software. The system was modelled in the MATLAB software with the finite difference method under the same conditions, and the results obtained in the COMSOL software were verified with a low relative error. According to the calculation results, the highest Sherwood number (Sh) was determined as approximately 26 and 28 in parallel and counter flow, respectively. In the study, using the results obtained from the analysis made in the COMSOL software, for both flow types, under the specified conditions (Reynold number, $Re=250-2000$, aspect ratio, $L/D=4-128$ and Schmidt number, $Sc=0,68$), high-precision equations were obtained for the Sh number on the moist and dry air sides.

To Cite: Cihan E., Kavasogullari B., Demir H. Anülüs Kanalda Hava-Hava Arası Nem Geçişinde Membranın Etkisinin İncelenmesi ve Kütle Transfer Eşitliklerinin Çıkarılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1334-1353.

1. Giriş

Dünyada tüketilen toplam enerjinin önemli bir kısmını, binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi iklimlendirme uygulamaları oluşturmaktadır (Roulet ve ark., 2001; Duan ve ark., 2012). Yaygın olarak kullanılan buhar sıkıştırımlı iklimlendirme sistemlerinde, sıcaklık ve nem kontrolü birlikte yapılmaktadır (Cho ve ark., 2021). Bu tip sistemler etkinliği yüksek, güvenilir, sade ve pratik kullanışlı olmalarına karşın söz konusu sistemlerde havadaki nemin giderilmesi için aşırı soğutma ve yeniden ısıtma işlemleri yapıldığından verimsizdirler (Dai ve ark., 2001). Bu olay, özellikle sıcak ve nemli iklimlerde nem kontrolü, yani iklimlendirme için harcanan enerjiyi daha da arttırmaktadır (Dai ve ark., 2001; Woods, 2014; Qu ve ark., 2018).

İklimlendirme işlemlerinde iyi bir nem kontrolünün sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılabilmesi için membran-tabanlı hava nem alma sistemleri geliştirilmiştir. Bu tip sistemlerde, havadaki su buharını soğurabilen, desikant malzemeleri kullanılarak havadaki nem düşük miktarda enerji harcanarak giderilebilmektedir (Dai ve ark., 2001; Cihan ve ark., 2020a). Ayrıca bu tip sistemlerde desikant malzemesi ile hava, membran sayesinde, doğrudan temas etmediğinden havaya tuz taşınımı ve basınç düşüşü gibi olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir (Isetti ve ark., 1997; Chen ve ark., 2017).

Literatürde membran-tabanlı hava nem alma sistemleri ile yapılan çalışmalarda, paralel-plaka, yüzey-boru ve boru tipi olmak üzere üç farklı tasarım öne çıkmakta olup genellikle nem alıcı olarak sıvı desikantlar kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2012; Huang ve Yang, 2014; Cihan ve ark., 2020b). Fakat bazı çalışmalarda araştırmacılar, özellikle havalandırma işlemlerinde, söz konusu sistemleri hava-hava akışkanları için de tasarlamışlardır. Bu tip sistemlerde ortama verilen taze havanın nem ve sıcaklık kontrolü, ortamdan atılan soğuk ve kuru egzoz havası kullanılarak yapılabilmektedir. Kullanılan membran modülü sayesinde taze havadan egzoz havasına su buharı geçişi olurken, taze hava ile egzoz havası birbirine karışmamaktadır. Bununla ilgili ilk çalışmalardan birinde Zhang ve Jiang (1999), havalandırma sistemi için tasarladıkları paralel-plaka tipi membranlı nem alma sisteminin deneysel ve sayısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda sistemin duyulur ve kütle etkinliklerini sırasıyla karşıt akışta 0,821 ve 0,816; çapraz akışta ise 0,752 ve 0,748 olarak hesaplamışlardır. Kistler ve Cussler (2002), benzer bir çalışmada, havalandırma sisteminde kullanılabilecek paralel-plaka tipi ve yüzey-boru tipi membran modülü tasarlayıp deneysel analizini yapmışlardır. Yaptıkları analizde, hazırladıkları sistemi iki farklı iklim tipinde test ederek, paralel-plaka tipi sistemin ısı transferi etkinliğini %72, kütle transferi etkinliğini ise %56 bulmuşlardır. Sistemin, belirlenen şartlarda havalandırma sistemine uygulanması halinde ise, geri ödeme süresini 3 yıl olarak belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada, Zhang (2007), havalandırma işleminde kullanılabilecek, çapraz akışlı paralel-plaka tipi membranlı nem alma sisteminin havadan havaya kütle ve ısı transferi analizini yapmıştır. Çalışmada, taze hava ve egzoz havası kanalları en-boy oranlarının Nusselt (Nu) ve Sherwood (Sh) sayılarını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Alldoor ve ark. (2020a) ise yine çapraz akışlı paralel-plaka tipi membranlı nem alma sistemini hava-hava akışkanları için modelleyerek

termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analiz sonucunda sistemin, optimum tasarım şartlarında, soğutma ve ısıtmada sırasıyla duyulur etkinliklerini %83,77 ve %79,19; gizli (nem alma) etkinliğini ise %80,62 ve %75,54 olarak hesaplamışlardır. Zhang (2010) yüzey-boru tipi membranlı nem alma sisteminin hava-hava akışkanları için analitik çözümlemesini yapmış ve sonuçları deneysel olarak doğrulamıştır. Çalışmada sistemin gizli ve duyulur etkinliklerinin kullanılan boru sayısı ile arttığı tespit edilmiş ve en yüksek gizli ve duyulur etkinlik sırasıyla yaklaşık 0,85 ve 0,75 olarak maksimum boru sayısında elde edilmiştir. Albdoor ve ark. (2020b) başka bir çalışmada paralel-plaka tipi hava-hava membranlı sistemin farklı akış tiplerinde kütle ve ısı transferi deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizde farklı hava debileri için sistemin duyulur, gizli ve toplam etkinliklerini hesaplamışlar ve en yüksek etkinlikleri sırasıyla yaklaşık %91, %89 ve %89 olarak 0,3 lt/s hava debisi için elde etmişlerdir. Buna ek olarak çalışmada Nu ve Sh sayılarının akış debisiyle arttığı tespit edilmiş ve en yüksek Nu ve Sh sayıları sırasıyla 5,76 ve 4,79 olarak 1,2 lt/s hava debisinde bulunmuştur.

Literatür çalışmalarında öne çıkan paralel-plaka ve yüzey-boru tipi membranlı sistemlere bakıldığında, bu sistemlerin boyut olarak oldukça küçük, dolayısıyla üretimlerinin ve büyük ölçekli iklimlendirme sistemlerine uygulanmasının zor olduğu görülmektedir (Bai ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2018). Bu çalışmada, paralel-plaka ve yüzey-boru tipi membranlı hava-hava nem alma sistemlerine alternatif olabilecek ve havalandırma sistemlerinde kullanılacak membranlı nem transferinin gerçekleştirildiği anülüs kanal sisteminin modellenmesi ve COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak kütle transferi analizi yapılmıştır. Modellenen sistem, metrik boyutlarda tasarlandığından pratikte kolaylıkla üretilebilecek ve büyük ölçekli iklimlendirme sistemlerine uygulanabilecek niteliktedir. Çalışmada nemli ve kuru hava tarafları için elde edilen yüksek hassasiyetteki eşitlikler, belirlenen aralıklarda, hem paralel akış hem de karşıt akış tiplerinde sistemin kütle transferi performansı hakkında fikir verecektir.

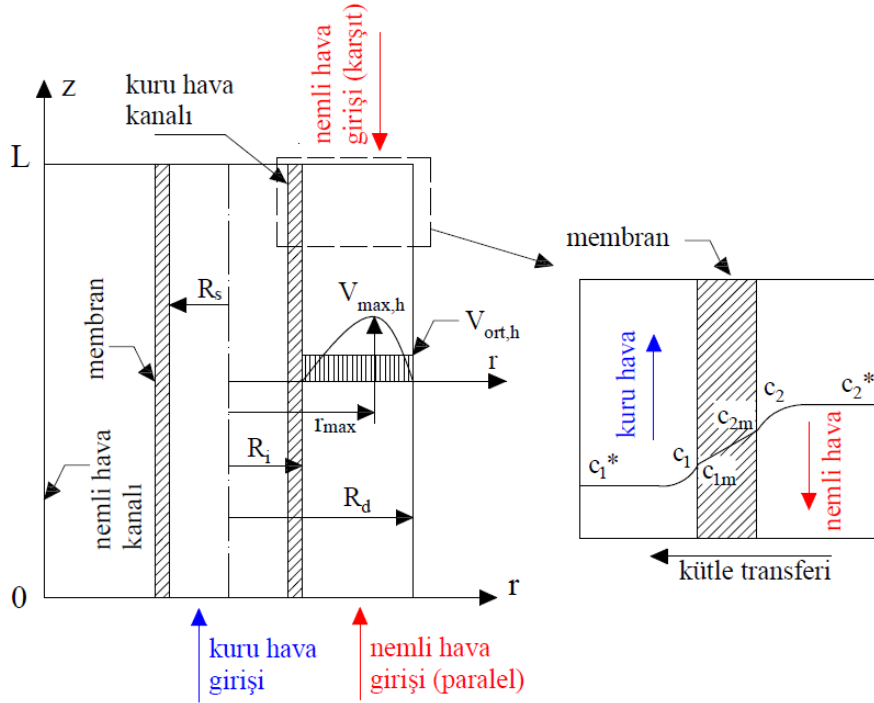
2. Sistemin Modellenmesi

Anülüs kanalda membranlı sistemin genel görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi sistem, iç içe geçmiş eş-merkezli iki silindirik kanaldan oluşmaktadır. Burada R_s kuru hava kanalının yarıçapını, R_i membran yarıçapını, R_d ise nemli hava kanalı yarıçapını ifade etmektedir. Sistemde kullanılan membranın kalınlığı $R_i - R_s$ olacaktır. L ise anülüs kanalın z-yönündeki maksimum uzunluğudur.

Sistemde paralel akışta nemli hava ve kuru hava pozitif z-yönünde akacaktır. Karşıt akışta ise nemli hava negatif z-yönünde akarken, kuru hava yine pozitif z-yönünde akacaktır. Burada nemli hava tarafının su buharı konsantrasyonu, kuru hava tarafı su buharı konsantrasyonundan yüksek olduğundan membran üzerinden kuru hava tarafına su buharı geçişi olacaktır. Membranın seçici-geçirgen

özelliğinden ötürü nemli hava ve kuru hava akışkanları birbirine karışmayacaktır. Hesaplamlarda aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Nemli hava ve kuru hava tarafları hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminar akıştır.
- Nemli ve kuru hava akışkanlarının birbirine karışmadığı varsayılmıştır.
- Sistemde sıcaklık sabittir, ısı transferi ihmal edilmiştir.
- Kütle transferi zamana bağlı olarak iki yönde (r-radyal ve z-boylamsal) gerçekleşmektedir. Açısal yönde kütle transferi yoktur.



Şekil 1. Membranlı anülüs kanalın kesit görünümü

Membranlı anülüs kanal, r (radyal mesafe), z (boylamsal mesafe) ve t (zaman) olmak üzere üç boyut için modellenmiştir. Silindirik koordinatlarda sözü geçen üç boyut için nemli hava, membran ve kuru hava taraflarında kütle iletim denklemleri sırasıyla Eşitlik (1), (2) ve (3)'te verilmiştir (Datta ve Rakesh, 2010):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V_{z,h} \cdot \frac{\partial c}{\partial z} = D_h \cdot \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_m \cdot \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V_{z,s} \cdot \frac{\partial c}{\partial z} = D_h \cdot \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

Bu aşamada c konsantrasyonu (mol/m^3), $V_{z,h}$ nemli hava hızını (m/s), D_h su buharının havadaki difüzyon katsayısını (m^2/s), D_m su buharının membrandaki difüzyon katsayısını (m^2/s) ve $V_{z,s}$ kuru hava hızını (m/s) temsil etmektedir. Sistemde laminar akışta kuru hava tarafı hız profili aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

$$V_{z,s}(r) = V_{max,s} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{R_s} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Bu aşamada $V_{max,s}$ kanalda belirlenen maksimum hız (m/s) olup, bilindiği gibi, laminar akışta ortalama hızın iki katıdır. Verilen bir Re sayısında, kanaldaki ortalama hız ise Eşitlik (5) ile hesaplanmıştır:

$$V_{ort,s} = \frac{Re_s \cdot \nu}{d_s} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te ν havanın kinematik viskozitesini (m^2/s), d_s ise kanalın eş değer çapını ifade etmektedir. Nemli hava tarafında ise akış halka kesitli kanalda gerçekleştiğinden hız profili Eşitlik (6) ile tanımlanmıştır:

$$V_{z,h}(r) = \frac{2 V_{ort,h}}{M} \left[1 + \left(\frac{r}{R_d} \right)^2 + b \ln(r/R_d) \right] \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da M ve b değişkenleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır:

$$M = \left[1 + \left(\frac{R_i}{R_d} \right)^2 - b \right] \quad (7a)$$

$$b = \frac{\left(\frac{R_i}{R_d} \right)^2 - 1}{\ln(R_i/R_d)} \quad (7b)$$

Bu aşamada verilen bir Re sayısında nemli hava tarafı ortalama hızı aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir:

$$V_{ort,h} = \frac{Re_h \cdot \nu}{d_h} \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de d_h nemli hava kanalı eş değer çapı olup Eşitlik (9) ile hesaplanmıştır:

$$d_h = \sqrt{4 \cdot (R_d^2 - R_i^2)} \quad (9)$$

Sistemde gerçekleşen kütle transferi Şekil 1’de gösterilmiştir. Buna göre nemli hava tarafından membrana ve membrandan kuru hava tarafına geçen su buharının kütle akısı Eşitlik (10) ile hesaplanmıştır. Burada kütle korunumundan ötürü nemli hava, membran ve kuru hava tarafındaki kütle akıları birbirine eşit olacaktır.

$$N_A = \frac{D_m}{\delta} (c_{2m} - c_{1m}) \quad (10a)$$

$$N_A = k_a (c_2^* - c_2) \quad (10b)$$

$$N_A = k_a (c_1 - c_1^*) \quad (10c)$$

Bu aşamada, k_a su buharının havadaki kütle transferi katsayısı (m/s), δ ise membranın kalınlığıdır (m). Yukarıdaki eşitliklerde c_{1m} ve c_{2m} membranın iç tarafında ara-yüz konsantrasyonları (mol/m³) olup membranın ince yapısından ötürü, c_1 ve c_2 konsantrasyonlarına yakın oldukları kabul edilmektedir. c_1^* ve c_2^* ise havadaki toplam su buharı konsantrasyonu olup Eşitlik (11) ile tanımlanmıştır:

$$c_{1/2}^* = \frac{\varphi \cdot P_{sat}}{R \cdot T} \quad (11)$$

Eşitlik (11)’de φ havanın bağıl nemi, P_{sat} havanın doyma basıncı (kPa), R evrensel gaz sabiti (8,314 kJ/kmol.K) ve T mutlak sıcaklıktır (K). Hava için P_{sat} değeri, Antonie eşitliği (Poling ve ark., 2001) ile hesaplanmıştır:

$$P_{sat} = e^{A - \frac{B}{T+C}} \quad (12)$$

Bu aşamada, $A=16,3872$, $B=3885,7$ ve $C=230,17$ olup nemli hava için Antonie parametreleridir. Sistemde nemli hava ve kuru hava tarafları için ortalama Sh sayısı ise Eşitlik (13) ile hesaplanmıştır:

$$Sh = \frac{k_a d}{D_h} \quad (13)$$

Eşitlik (13)’te d değişkeni eşdeğer çap olup, kuru hava tarafı Sh sayısı hesaplanırken d_s , nemli hava tarafı Sh sayısı hesaplanırken d_h kullanılacaktır.

2.1. Sınır Şartları

Membranlı anülüs kanalda, paralel ve karşıt akışta, diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için bazı sınır şartları belirlenmiştir. Paralel akışta, nemli hava ve kuru hava taraflarında, nemli ve kuru havadaki su buharı giriş konsantrasyonları, c_1^* ve c_2^* , belirli ve sabit olup bununla ilgili sınır şartı aşağıdaki gibi olacaktır.

Nemli hava tarafı için paralel akışta:

$$z = 0 \quad \begin{aligned} c \\ = c_{h,g} \end{aligned} \quad (14)$$

Kuru hava tarafı için:

$$z = 0 \quad \begin{aligned} c \\ = c_{s,g} \end{aligned} \quad (15)$$

Sistemde kanal çıkışında ise, sistem yalıtılmış olarak kabul edildiğinden, konsantrasyon değişimi sıfır olacaktır. Bu durum paralel akışta Eşitlik (16)'daki gibi ifade edilmiştir.

$$z = L \quad \begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial z} \\ = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Karşıt akışta ise, kuru hava yine z-yönünde, nemli hava negatif z-yönünde aktığından kuru hava için eşitlik (15) ile yazılan sınır şartı değişmeyecek fakat nemli hava için Eşitlik (14)'teki sınır şartı aşağıdaki halini alacaktır:

$$z = L \quad \begin{aligned} c \\ = c_{h,g} \end{aligned} \quad (17)$$

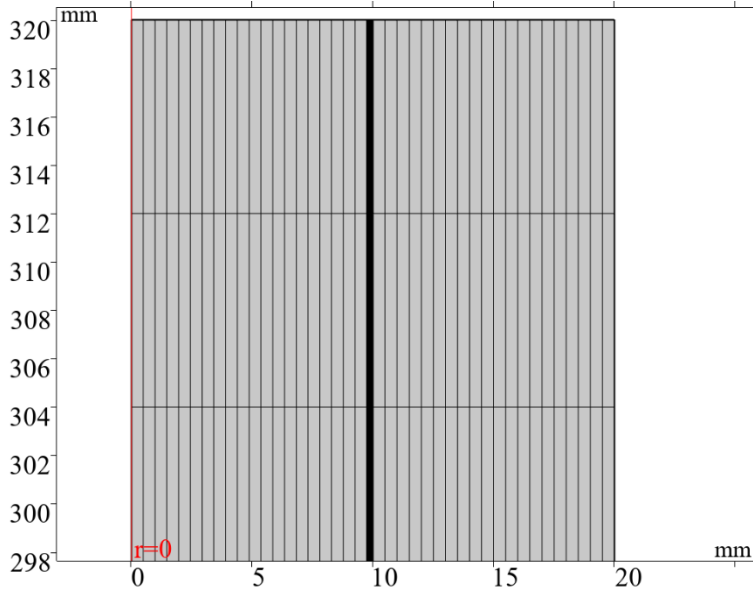
Paralel akış için Eşitlik (16)'da tanımlanan kanal çıkışı yalıtım sınır şartı, karşıt akışta aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır:

$$z = 0 \quad \begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial z} \\ = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

Sistemde $t=0$ anında nemli hava ve kuru hava su buharı konsantrasyonları da bilinmektedir. Söz konusu durumda nemli hava ve kuru hava su buharı konsantrasyonları, verilen bağıl nem değerine göre, Eşitlik (11) ile hesaplanmıştır.

2.2. Çözüm Yöntemi ve Analiz Doğrulaması

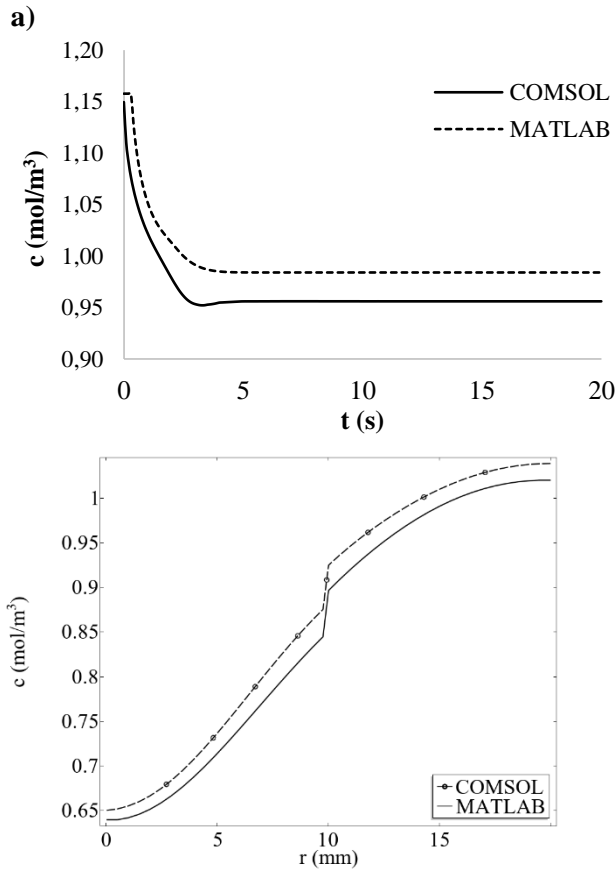
Çalışmada kütle transferi analizinde, daha önce söz edildiği gibi, COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılmıştır. Nemli hava tarafından membran tarafına ve membran tarafından kuru hava tarafına kütle geçişinin hesaplanması için COMSOL'da 'Transport of Diluted Species (tds)' modülü kullanılmıştır. Laminar akışta analizin yapılabilmesi için önceki bölümlerde söz edilen hız eşitlikleri yazılıma doğrudan tanımlanmış ve belirli Re sayılarına göre ortalama hız değerleri bulunarak modelde giriş hızı olarak kullanılmıştır. Analizi yapılan geometri öncelikle 2-boyutlu olarak modellenmiş, daha sonra COMSOL'da '2-D Axisymmetric' (eksenel simetri) modülü ile kabuk haline dönüştürülmüştür. Sistemde COMSOL yazılımında hesaplama yapılabilmesi için oluşturulan ağ (mesh) modeli ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Ağ modeli hazırlanırken sistem geometrisi z-yönünde 40 eşit parçaya bölünmüştür. r-yönünde ise nemli ve kuru hava tarafları 40 parçaya, membran tarafı ise 20 eşit parçaya bölünmüştür. MATLAB'ta da sonlu farklar yöntemiyle hesaplama yapılırken nemli hava, membran ve kuru hava tarafları, COMSOL yazılımıyla uyumlu olması açısından, aynı sayıda bölmeye ayrılmıştır. Daha doğru sonuç elde edebilmek için COMSOL ve MATLAB yazılımlarında zaman aralığı 0,1 saniye olacak şekilde 10 saniyelik bir süre için sistemin çözümü yapılmıştır.



Şekil 2. COMSOL yazılımında oluşturulan ağ (mesh) yapısı

COMSOL yazılımında elde edilen sonuçların doğrulanabilmesi için, MATLAB yazılımında sistemin sonlu farklar yöntemiyle, aynı şartlar altında, analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde nemli hava, membran ve kuru hava tarafı kütle transferi denklemlerinin, verilen başlangıç ve sınır şartlarında,

sonlu farklar yöntemiyle çözümlü yapılmıştır. Kütle transferi denkleminde yer alan türevli ifadelerin analizi için, Crank-Nicolson yönteminde ikinci dereceden düşük kesme hatalı formüller kullanılmıştır. Sonlu farklar yöntemiyle elde edilen katsayılar matris haline getirilmiş ve Gauss-Seidel iterasyon yöntemiyle bu matrisin çözümü yapılmıştır. Çözüm yapılırken sonuçların hızlı yakınsaması için, SOR (Successive over-relaxation) yöntemi kullanılmış ve yakınsama kriteri 10^{-9} 'dan düşük olarak belirlenmiştir. COMSOL yazılımında elde edilen sonuçlarla, MATLAB yazılımında sonlu farklar yöntemiyle elde edilen sonuçlar Şekil 3a ve Şekil 3b'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada paralel akış için nemli hava tarafı çıkış konsantrasyonunun zamanla değişimi ve aynı akış tipinde sistemde çıkış konsantrasyonunun r-koordinatı ile değişimi kullanılmıştır. Şekillerden de anlaşılacağı gibi, iki yöntemde de birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiş ve bağıl hata %3'ten düşük bulunmuştur. Böylelikle COMSOL yazılımında oluşturulan modelin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. COMSOL ve MATLAB karşılaştırılması: a) Nemli hava tarafı çıkış konsantrasyonlarının zamanla değişimi, b) çıkış konsantrasyonlarının r-koordinatı ile değişimi

3. Bulgular ve Tartışma

COMSOL ve MATLAB yazılımlarında modellenen sistemin analizi için belirlenen parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Sistemde analiz yapılırken membranın iç yarıçapı, nemli hava kanalı yarıçapı ve silindirik membran uzunluğu, membranın yarıçapına bağlı olarak sırasıyla membran kalınlığına, κ , değişkenine ve L/D oranına göre belirlenmiştir. Buna ek olarak hesaplamalarda L/D oranı 4 ile 128 arasında, nemli hava ve kuru hava tarafı Re sayıları, ikisi aynı olacak şekilde, laminar akış şartlarının

sağlanabilmesi için, 250 ile 2000 arasında değiştirilmiştir. Sistemde kütle geçişi olabilmesi için, nemli ve kuru hava taraflarının başlangıç bağıl nem değerleri sırasıyla 0,9 ve 0,3 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda, daha önce de söz edildiği gibi, Sc sayısı (v/D_h) 0,68 değerinde sabit tutulmuştur. Membranın başlangıçta su buharı konsantrasyonunun 0 mol/m^3 olduğu kabul edilmiştir.

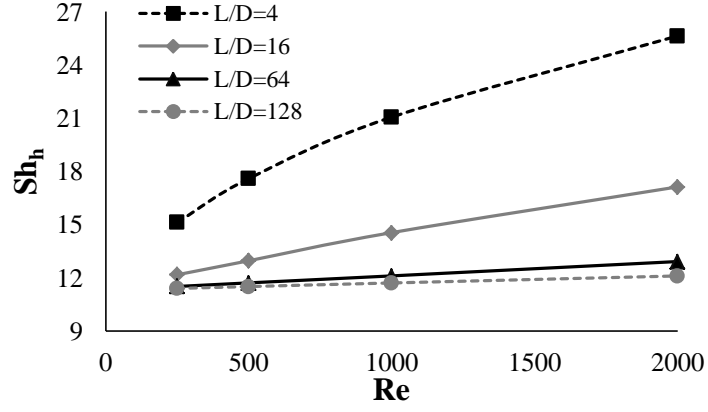
Tablo 1. Analiz parametreleri

Parametre	Açıklama	Değer
R_s	Membran iç yarıçapı	$R_2-0,25$ (mm)
R_i	Membran dış yarıçapı	10 (mm)
R_d	Nemli hava kanalı yarıçapı	R_2/κ_r (mm)
κ_r	Membran yarıçapının toplam yarıçapa oranı	0,5
L	Silindirik membran uzunluğu	$L/D*D$ (mm)
D_h	Havanın difüzyon katsayısı (Geankoplis, 2003)	$2,5*10^{-5}$ (m^2/s)
D_m	Membranın difüzyon katsayısı (Huang ve ark., 2016)	$3*10^{-6}$ (m^2/s)
ν	Havanın kinematik viskozitesi	$17,02*10^{-6}$ (m^2/s)
φ_h	Nemli hava bağıl nemi	0,9
φ_s	Kuru hava bağıl nemi	0,3
L/D	Membran uzunluk-çap oranı	4-128
Re_h	Nemli hava Re sayısı	250-2000
Re_s	Kuru hava Re sayısı	250-2000
$c_{0,m}$	Membranda su buharı başlangıç konsantrasyonu	0 (mol/m^3)

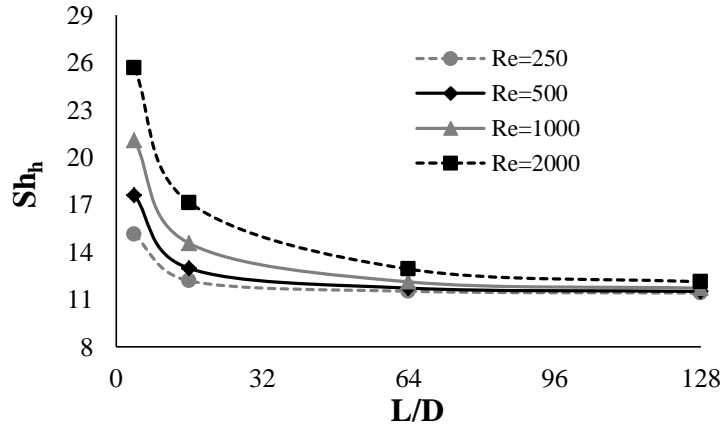
3.1. Paralel Akış

Sistemde belirlenen L/D oranlarında paralel akışta nemli hava tarafı ortalama Sh sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi, tüm L/D değerlerinde Sh sayısı, Re sayısı ile artacaktır. Yüksek Re sayılarında, nemli hava ve kuru hava akışkanlarının temas süresi az olup konsantrasyon sınır tabakası daha az gelişeceğinden Sh sayısı daha yüksek olacaktır. Aynı durum L/D parametresi için de geçerli olduğundan en yüksek Sh sayısı yaklaşık 26 olarak, L/D=4 ve Re=2000 için elde edilmiştir.

Şekil 5'te ise nemli hava tarafı Sh sayısının L/D oranıyla değişimi gösterilmiştir. Nemli hava tarafı ortalama Sh sayılarının, belirlenen tüm Re sayılarında, L/D oranıyla azalarak yaklaşık 11 değerinde sabit bir değere ulaştığı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, belirlenen L/D aralığında, tüm Re sayılarında, Sh sayıları değişmeyip sabit bir sayıya yakınsadığından L/D oranının daha fazla arttırılmasına gerek yoktur.

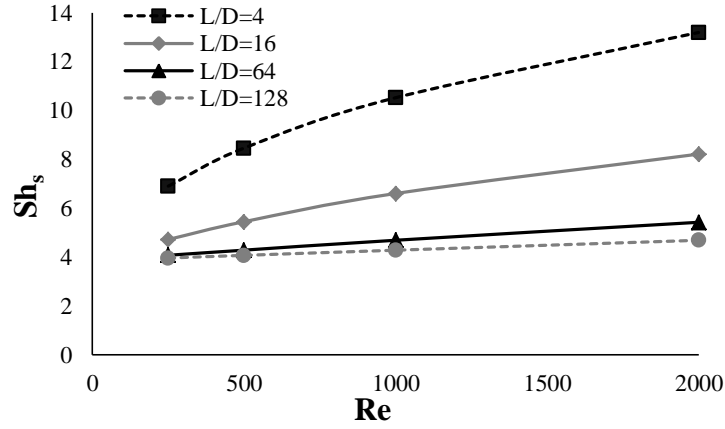


Şekil 4. Paralel akışta nemli hava tarafı ortalama Sh_h sayısının Re sayısı ile değişimi

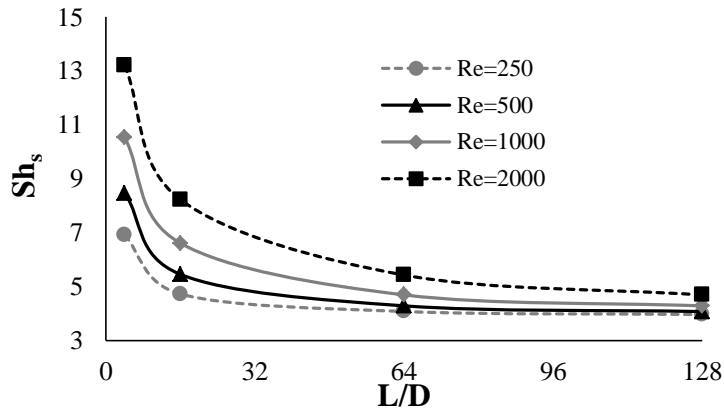


Şekil 5. Paralel akışta nemli hava tarafı ortalama Sh_h sayısının L/D ile değişimi

Paralel akışta kuru hava tarafı Sh sayısının Re sayısı ile değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada da beklenildiği gibi, Sh sayısı Re sayısı ile artmaktadır. Söz konusu akış tipinde kuru hava tarafında en yüksek Sh sayısı yaklaşık 13,5 olarak, en yüksek Re ve en düşük L/D için elde edilmiştir. Şekil 7'de ise kuru hava tarafı Sh sayısının L/D ile değişimi gösterilmiştir. Şekilden Sh sayılarının L/D ile azalarak 3,9 değerine yakınsadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Paralel akışta kuru hava tarafı Sh sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 7. Paralel akışta kuru hava tarafı Sh sayısının L/D ile değişimi

Sistemde nemli hava tarafı ve kuru hava tarafında, yukarıdaki grafiklerden de yararlanılarak ortalama Sh sayıları için Re sayısına ve L/D oranına bağlı eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitlikler elde edilirken, Yılmaz (1979) tarafından önerilen yöntemden de faydalanılarak, öncelikle nemli hava tarafı için ortalama Sh sayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$Sh_h = Sh_{h,\infty} \left[1 + \frac{1}{\sigma_a^3} \right]^{1/3} \quad (19)$$

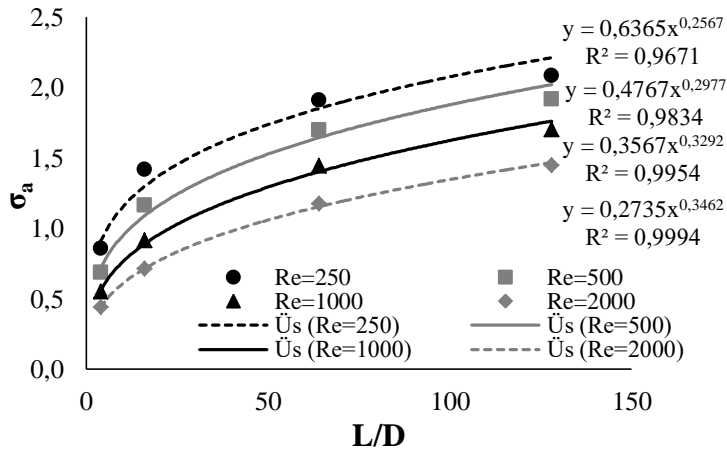
Burada, Şekil 5 ve Şekil 7 incelendiğinde ortalama Sh sayılarının nemli ve kuru hava tarafı için, L/D oranı sonsuza giderken, sırasıyla 11 ve 3,9 değerine yakınsadıkları görülmektedir. Bu sebeple nemli hava tarafı için kullanılan $Sh_{h,\infty}$ 'nin değeri 11 olacaktır. Eşitlik (19)'daki σ_a ise Re sayısının ve L/D oranının bir fonksiyonu olup aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\sigma_a = f(Re) \cdot (L/D)^m \quad (20)$$

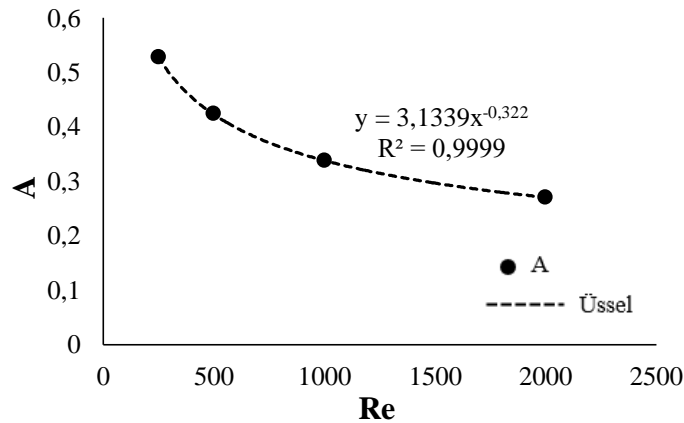
Eşitlik (19)'da σ_a aşağıdaki gibi yalnız bırakılabilir:

$$\sigma_a = \left[1 / \left(\frac{Sh_h^3}{Sh_{h,\infty}^3} - 1 \right) \right]^{1/3} \quad (21)$$

Burada, Eşitlik (21) kullanılarak farklı Re sayıları ve L/D oranları için σ_a değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan σ_a değerlerinin belirlenen Re sayılarında L/D oranıyla değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de grafiğe eklenen eğilim çizgilerinin denklemlerinde "Axⁿ" şeklindeki ifadelerin "n" ile temsil edilen üslerinin aritmetik ortalaması Eşitlik (20)'deki "m" değerine eşit olacak, yani m=0,307 olacaktır. Eşitlik (20)'deki f(Re) kısmı, eğilim çizgisi denklemlerindeki A katsayılarının Re sayısı ile değişiminden bulunacaktır. Söz konusu değişim Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. σ_a değerlerinin belirlenen Re sayılarında L/D ile değişimi



Şekil 9. A değerlerinin Re sayısı ile değişimi

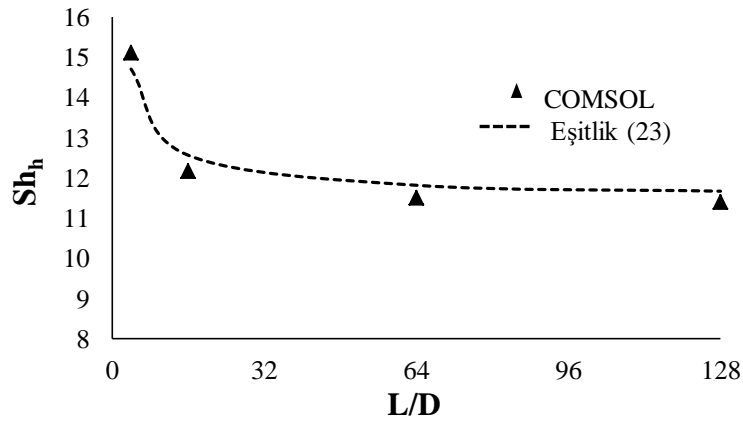
Şekil 9'daki grafiğin eğilim çizgisine bakıldığında $A=3,1339Re^{-0,322}$ olduğu görülebilmektedir. Bulunan bu değerler Eşitlik (20)'de yerine yazılırsa σ_a değeri aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\sigma_a = 3,1339Re^{-0,322}(L/D)^{0,307} \quad (22)$$

Eşitlik (22) ile elde edilen σ_a değişkeni Eşitlik (19)'da yerine yazılır ve gerekli matematiksel işlemler yapılırsa, hava tarafı ortalama Sh sayısı için elde edilen denklem, Re ve L/D parametrelerine bağlı olarak, aşağıdaki gibi olacaktır:

$$Sh_h = Sh_{h,\infty} \left[1 + \frac{Re^{1,221}}{216,93(L/D)^{0,921}} \right]^{1/3} \quad (23)$$

Burada $Sh_{h,\infty}$ değeri, daha önce de söz edildiği gibi, 11 olacaktır. Eşitlik (23) ile hesaplanarak elde edilen Sh_h değerleri, COMSOL yazılımında elde edilen Sh sayıları ile Şekil 10'da Re=250 için, karşılaştırılmıştır. Şekilde de görülebileceği gibi, Eşitlik (23) ile hesaplanan ortalama Sh değerleri COMSOL yazılımı ile hesaplanan ortalama Sh değerlerine oldukça yakın olup hesaplanan bağıl hata değeri tüm değerlerde %5'ten küçüktür. Buna göre elde edilen eşitliğin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.



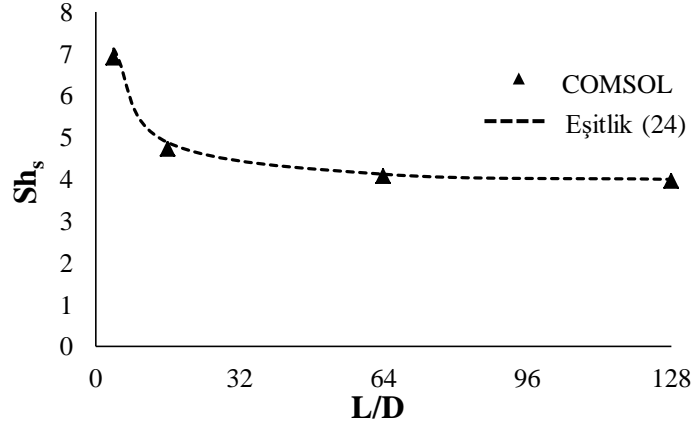
Şekil 10. Paralel akışta nemli hava tarafı için Eşitlik (23) ile elde edilen ortalama Sh sayılarının COMSOL yazılımıyla karşılaştırılması (Re=250)

Paralel akışta, nemli hava tarafı için uygulanan adımlar, kuru hava tarafı için de uygulanırsa ortalama Sh sayıları için elde edilen eşitlik aşağıdaki gibi olacaktır ($Sh_{s,\infty}=3,9$):

$$Sh_s = Sh_{s,\infty} \left[1 + \frac{Re^{0,93}}{6,33(L/D)^{1,2}} \right]^{1/3} \quad (24)$$

Kuru hava tarafı için Eşitlik (24) ile bulunan ortalama Sh değerleri COMSOL yazılımında elde edilen ortalama Sh değerleri ile, Re=250 için Şekil 11'de karşılaştırılmıştır. Grafikte de görülebileceği gibi

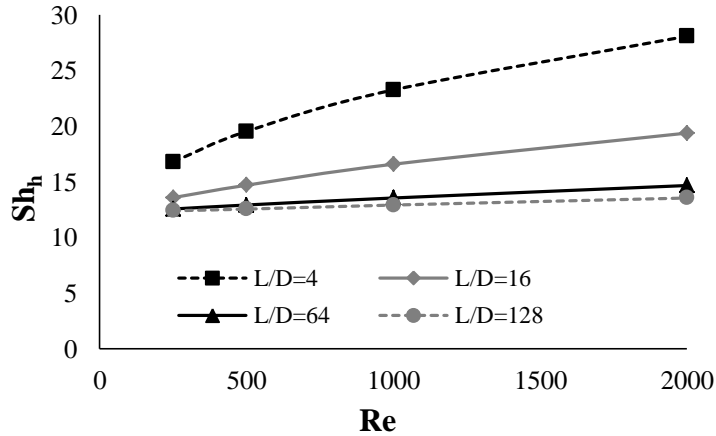
iki yöntemle elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakın olup bağıl hata değeri tüm sonuçlarda %5'in altındadır.



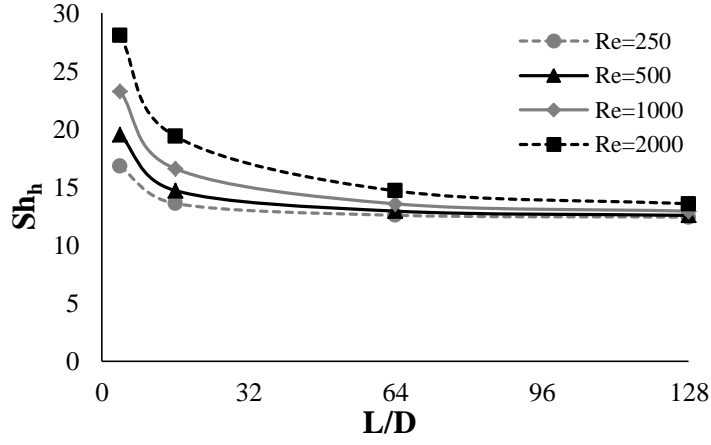
Şekil 11. Paralel akışta kuru hava tarafı için Eşitlik (24) ile elde edilen ortalama Sh sayılarının COMSOL yazılımıyla karşılaştırılması (Re=250)

3.2. Karşıt Akış

Karşıt akışta nemli hava tarafı Sh sayılarının, belirlenen L/D değerlerinde, Re sayısı ile değişimi Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi nemli hava tarafı için ortalama Sh sayıları, paralel akışa benzer şekilde, tüm L/D değerlerinde Re sayısı ile artmaktadır. Karşıt akışta nemli hava tarafı için en yüksek Sh değeri L/D=4 olduğu durumda, Re=2000 için yaklaşık 28 olarak hesaplanmıştır. Aynı koşullarda paralel akışta elde edilen en yüksek Sh sayısı 13,5 olup buna göre karşıt akışta kütle transferinin daha iyi olduğu anlaşılabilmektedir. Karşıt akışta nemli hava tarafı ortalama Sh sayılarının L/D ile değişimi ise Şekil 13'te gösterilmiştir. Burada ortalama Sh sayıları, L/D sonsuza yaklaşırken tüm Re değerleri için yaklaşık 12 değerine yakınsamaktadır. Dolayısıyla $Sh_{h,\infty}=12$ olacaktır.

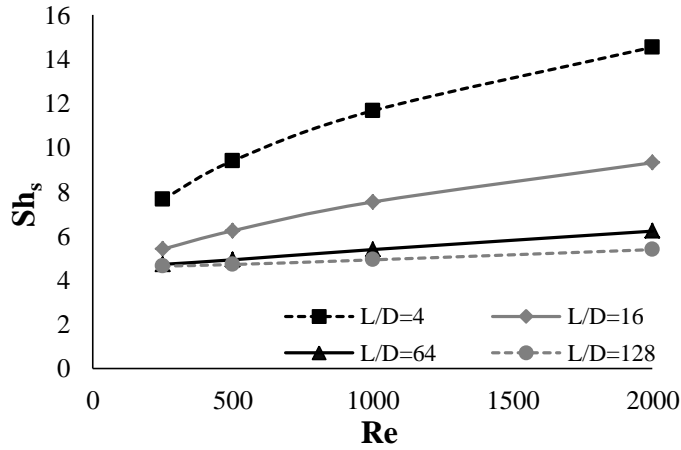


Şekil 12. Karşıt akışta nemli hava tarafı ortalama Sh sayısının Re sayısı ile değişimi

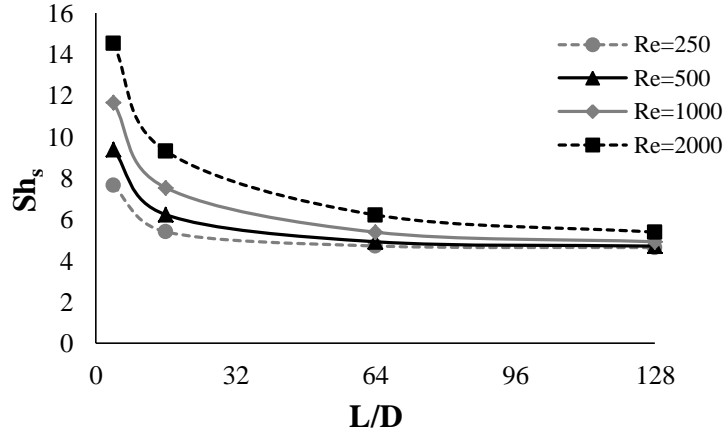


Şekil 13. Karşıt akışta nemli hava tarafı ortalama Sh sayısının L/D ile değişimi

Sistemde karşı akışta kuru hava tarafı ortalama Sh sayılarının Re sayısı ve L/D oranıyla değişimi sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir. Re sayısının artmasıyla, akışkanların temas süresinin azalmasından dolayı, konsantrasyon gradyanı artmış, bu da Sh sayısını arttırmıştır. L/D oranı arttıkça geçen su buharı miktarı artıp, konsantrasyon gradyanı azalacağından ortalama Sh sayısı azalmaktadır. Ortalama Sh sayıları yüksek L/D oranlarında yaklaşık 4,5 değerine yakınsamaktadır. Yani $Sh_{s,\infty}=4,5$ olacaktır.



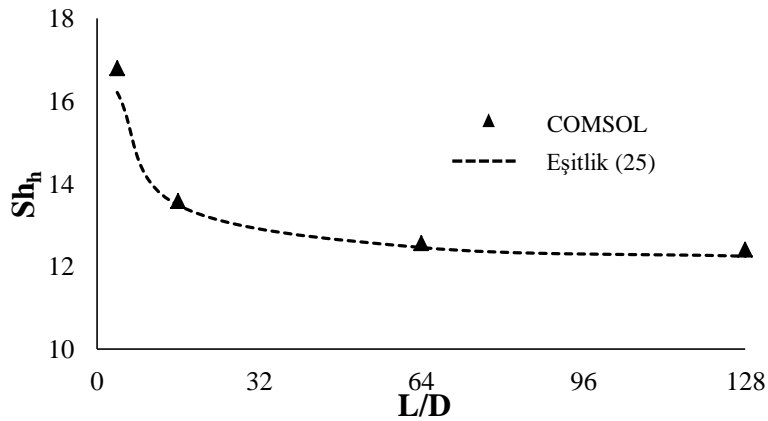
Şekil 14. Karşıt akışta kuru hava tarafı ortalama Sh sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 15. Karşıt akışta kuru hava tarafı ortalama Sh sayısının L/D ile değişimi

Karşıt akış tipinde de nemli hava ve kuru hava tarafları ortalama Sh sayıları için eşitlikler bulunurken, paralel akışta nemli hava tarafı için uygulanan yöntemin aynısı uygulanmıştır. Dolayısıyla nemli hava tarafı ortalama Sh sayısı için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Eşitlik (25) ile elde edilen ortalama Sh sayıları, COMSOL yazılımında elde edilen ortalama Sh sayıları ile, Re=250 için, Şekil 16'da karşılaştırılmıştır. Şekilde de görülebileceği gibi, söz konusu eşitlikle elde edilen ortalama Sh sayıları, COMSOL yazılımında elde edilen değerlere oldukça yakındır.

$$Sh_h = Sh_{h,\infty} \left[1 + \frac{Re^{1,053}}{65,324(L/D)^{0,903}} \right]^{1/3} \quad (25)$$

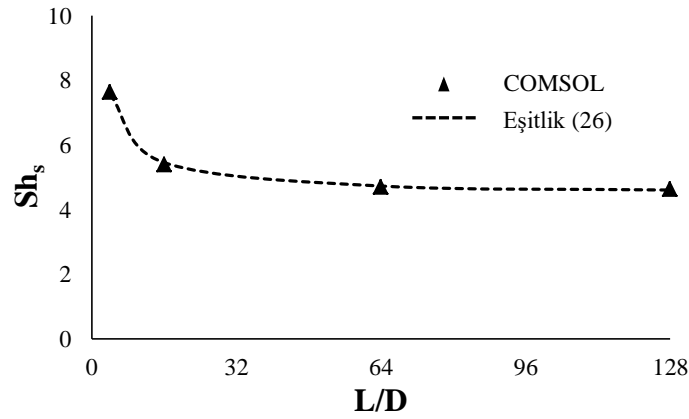


Şekil 16. Karşıt akışta nemli hava tarafı için Eşitlik (25) ile elde edilen ortalama Sh sayılarının COMSOL yazılımıyla karşılaştırılması (Re=250)

Karşıt akışta kuru hava tarafında ise aynı yöntemlerle ortalama Sh sayısı için Eşitlik (26) elde edilmiştir:

$$Sh_s = Sh_{s,\infty} \left[1 + \frac{Re^{1,077}}{21,21(L/D)^{1,131}} \right]^{1/3} \quad (26)$$

Yukarıdaki eşitlikle elde edilen ortalama Sh sayıları COMSOL yazılımıyla elde edilen ortalama Sh sayıları ile Şekil 17’de karşılaştırılmıştır. İki yöntemle elde edilen ortalama Sh sayılarının birbirine oldukça yakın olduğu şekilde görülebilmektedir. Bu sebeple söz konusu eşitliğin de güvenle kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 17. Karşıt akışta kuru hava tarafı için Eşitlik (26) ile elde edilen ortalama Sh sayılarının COMSOL yazılımıyla karşılaştırılması (Re=250)

4. Sonuç

Bu çalışmada, membranlı anülüs kanalda hava-hava arasında nem geçişi incelenmiş, nemli hava ve kuru hava akışkanları için COMSOL yazılımında kütle transferi analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde sistem paralel ve karşıt olmak üzere iki farklı akış tipi için modellenmiş ve söz konusu akış tiplerinde nemli ve kuru hava taraflarında kütle transferi katsayısı için sabit bir Sc sayısında (0,68) eşitlikler elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sistemin, MATLAB yazılımında oluşturulan sonlu farklar modeliyle yüksek hassasiyette doğrulaması yapılmıştır (Bağıl hata⁰%3).
- Sistemde her iki akış tipinde, nemli ve kuru hava taraflarında, Sh sayısı Re sayısı ile artıp L/D ile azalmıştır. Paralel akışta en yüksek Sh sayısı 26, karşıt akışta ise 28 olarak Re=2000 ve L/D=4 için elde edilmiştir.
- Her iki akış tipinde hesaplanan Sh sayıları, sistemin kütle transferi performansının karşıt akışta daha iyi olduğunu göstermiştir.
- Elde edilen eşitliklerin hassasiyetleri oldukça yüksek olup, bağıl hata en yüksek %5 civarında bulunmuştur. Bu durum, eşitliklerin verilen şartlarda (Sc=0,68; L/D=4-128; Re=250-2000) güvenle kullanılabilceğini göstermiştir.

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

- Albdoor AK., Ma Z., Cooper P., Ren H., Al-Ghazzawi F. Thermodynamic analysis and design optimization of a cross flow air to air membrane enthalpy exchanger. *Energy* 2020a; 202: 117691.
- Albdoor AK., Ma Z., Cooper P. Experimental investigation and performance evaluation of a mixed-flow air to air membrane enthalpy exchanger with different configurations. *Applied Thermal Engineering* 2020b; 166: 114682.
- Bai H., Zhu J., Chen Z., Chu J. Parametric analysis of a cross-flow membrane-based parallel-plate liquid desiccant dehumidification system: Numerical and experimental data. *Energy and Buildings* 2018; 158: 494-508.
- Chen Z., Zhu J., Bai H., Yan Y., Zhang L. Experimental study of a membrane-based dehumidification cooling system. *Applied Thermal Engineering* 2017; 115: 1315-1321.
- Cho HJ., Cheon SY., Jeong JW. Energy impact of vacuum-based membrane dehumidification in building air-conditioning applications. *Applied Thermal Engineering* 2021; 182: 116094.
- Cihan E., Kavasogullari B., Demir H. Mass transfer correlation for tubular membrane-based liquid desiccant air-conditioning system. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2020a; 45: 519-529.
- Cihan E., Kavasogullari B., Demir H. Performance of counter flow membrane-based annular pipe liquid desiccant air conditioner. *Applied Thermal Engineering* 2020b; 180: 115884.
- Dai YJ., Wang RZ., Zhang HF., Yu JD. Use of liquid desiccant cooling to improve the performance of vapor compression air conditioning. *Applied Thermal Engineering* 2001; 21(12): 1185-1202.
- Datta A., Rakesh V. An introduction to modeling of transport processes. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge; 2010.
- Duan Z., Zhan C., Zhang X., Mustafa M., Zhao X. Alimohammadisagvand B. Indirect evaporative cooling: past, present and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012; 16: 6823-6850.
- Geankoplis CJ. Transport processes and separation process principles (includes unit operation). 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall International Inc.; 2003.
- Huang SM., Yang M. Heat and mass transfer enhancement in a cross-flow elliptical hollow fiber membrane contactor used for liquid desiccant air dehumidification. *Journal of Membrane Science* 2014; 449: 184-192.

- Huang SM., Zhang LZ., Tang K., Pei LX. Fluid flow and mass transfer in membrane parallel-plate channels used for liquid desiccant dehumidification, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2012; 55: 2571-2580.
- Huang SM., Zhong Z., Yang M. Conjugate heat and mass transfer in an internally-cooled membrane-based liquid desiccant dehumidifier. *Journal of Membrane Science* 2016; 508: 73-83.
- Isetti C., Nannei E., Magrini A. On the application of a membrane air-liquid contactor for air dehumidification. *Energy and Buildings* 1999; 25: 185-193.
- Kistler KR., Cussler EL. Membrane modules for building ventilation. *Trans IChemE* 2002; 80(A): 53-64.
- Poling BE., Prausnitz JM., O'Connell JP. *The properties of gases and liquids*. 5th Ed. USA; McGraw-Hill: 2001.
- Qu M., Abdelaziz O., Gao Z., Yin H. Isothermal membrane-based air dehumidification: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 82: 4060-4069.
- Roulet CA., Heidt FD., Foradini F., Pibiri MC. Real heat recovery with air handling units. *Energy and Buildings* 2001; 33: 495-502.
- Woods J. Membrane processes for heating, ventilation, and air-conditioning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014; 33: 290-304.
- Yılmaz T. Transfer proseslerinde deneysel ve teorik bulguların yaklaşık eşitliklerle ifadesinde genel esaslar. *Isı Bilimi ve Tekniği* 1979; 2: 41-46.
- Zhang LZ., Jiang Y. Heat and mass transfer in a membrane-based energy recovery ventilator. *Journal of Membrane Science* 1999; 163: 29-38.
- Zhang LZ. Heat and mass transfer in a cross-flow membrane-based enthalpy exchanger under naturally formed boundary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2007; 50: 151-162.
- Zhang LZ. An analytical solution for heat mass transfer in a hollow fiber membrane based air-to-air heat mass exchanger. *Journal of Membrane Science* 2010; 360: 217-225.
- Zhang N., Yin SY., Li M. Model-based optimization for a heat pump driven and hollow fiber membrane hybrid two-stage liquid desiccant air dehumidification system. *Applied Energy* 2018; 228: 12-20.

Alüminyum Alaşımli Tellerle Isıl İşlem Uygulanması ve Bu Tellerle Üretilen Tam Alaşımli AAAC İletkenlerle Geleneksel ACSR Örgülü İletkenlerin Karşılaştırılması

Ebru KISTI^{1*}, Erhan SAYIN², Necati OCAK³, Ahmet FEYZİOĞLU⁴

^{1,2,3}Emta Conductor & Cable, Osmaniye, Turkey

⁴Marmara University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-6907-7530>

²<https://orcid.org/0000-0002-6145-5688>

³<https://orcid.org/0000-0001-8494-5789>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-0296-106X>

*Sorumlu yazar: ebrukisti@gmail.com.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.12.2021

Kabul tarihi: 10.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Isıl işlem

Alüminyum alaşımli tel

Tam alüminyum alaşımli iletken

Havai hatlar

ÖZ

Geleneksel ACSR iletkenleri, alüminyum tellerin çelik bir çekirdek üzerine bükülmesiyle oluşturulur. Çelik çekirdek akım taşımaya katkı sağlamaz ve sadece taşıma amaçlı kullanılır. Hat ağırlığının artmasında çelik kısmın rolü büyüktür. Hat ağırlığının artması ile daha kısa mesafelerde daha uzun direkler kullanılır ancak taşıma görevini üstlendiği için çelik özden vazgeçilemez. Günümüzde ACSR konvansiyonel iletkenine alternatif arayışları hızlanmıştır. Bu alternatiflerden biri de AAAC'dir (Tam alüminyum alaşımli iletkenler). AAAC'de bulunan teller özel alaşımli üretim ile sertleştirilmiş olup, merkezde taşıyıcı olarak çelik öz ihtiyacını ortadan kaldırır. Alüminyum havai hat iletkeni üretilirken alüminyum külçeler ergitme fırınlarında eritilip, dinlenme fırınlarına alındıktan sonra içine Si, Mg gibi alaşım elementlerinin belirli oranlarda ilave edilmesinden sonra bakır bir kalıba dökülerek katılaştırılır. Refrakter yolluklardan geçerek haddeme işleminden sonra 9,5 mm veya 12 mm Alüminyum Alaşımli çubuk (filmaşın) yarı mamülleri üretilmektedir. Üretilen havai hat iletkeni için standartlarda belirlenen çapta tel üretilirken, 9,5 mm veya 12 mm Alüminyum çubuk (filmaşın) yarı mamul çekme işleminde belirli bir küçültme oranı ile inceltir ve istenilen çapta alüminyum tel elde edilir. Çekme işleminde filmaşın, makineye ve üretilen nihai ürüne uygun bir indirgeme oranı ile haddelenir. Üretilen teller standartlardaki adım oranı ile bir araya getirilerek bir iletken oluşturulur. Üretilen alüminyum alaşımli telin, mekanik ve elektriksel özelliklerini kazanmak için ısıl işlem fırınlarında belirli bir zaman ve sıcaklıkta ısı uygulanır. Bu çalışmada uygulanan ısıl işlem süresi ve derecesi dikkate alınarak ısıl işlem öncesi ve sonrası özellikler karşılaştırılacak ve ısıl işlemin tele etkisi deneysel çalışmalarla gösterilecektir. Alaşımli tellerden yapılmış AAAC 774 AL7 iletkeni ile çelik çekirdek üzerine örülmüş alüminyum tellerden yapılmış ACSR Pheasant iletkenlerinin mekanik ve elektriksel testleri yapılacak ve hat seçiminde bazı parametreler dikkate alınarak iki iletken karşılaştırılacaktır.

Application of Heat Treatment to Aluminum Alloy Wires and Comparison of Full Alloy AAAC Conductor Manufactured with These Wires and Conventional ACSR Stranded Conductors

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 12.12.2021

Accepted: 10.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Heat treatment

Aluminum alloy wire

Full aluminum alloy conductor

Overhead lines

Conventional ACSR conductors are formed by stranding aluminum wires over a steel core. The steel core does not contribute to current carrying and is used only for carrying purposes. The steel core has a great role in the shedding of the line weight. With the increase in line weight, longer poles are used at shorter distances, but it cannot be abandoned because it undertakes the transport task. Nowadays, the search for alternatives to the ACSR conventional conductor has accelerated. One of these alternatives is AAAC (Full aluminum alloy conductors). The wires in AAAC are hardened with special alloy production and eliminate the need for a steel core as a carrier in the center. While producing the aluminum overhead line conductor, after the aluminum ingots are melted in the melting furnaces and taken to the resting furnaces, after the addition of alloy elements such as Si, Mg in certain proportions, it is solidified by pouring it into a copper mold through refractory runners, and after the rolling process, 9.5 mm or 12 mm Aluminum Alloy rod (wire rod) semi-finished products are produced. While producing wire in the diameter determined in the standards for the overhead line conductor to be produced, 9.5 mm or 12 mm Aluminum rod (wire rod) is thinned with a certain reduction ratio in the semi-finished drawing process, and aluminum wire of the desired diameter is obtained. In the drawing process, the rod is rolled with a reduction ratio suitable for the machine and the final product to be produced. The wires produced are brought together with the step ratio in the standards to form a conductor. In order to gain the mechanical and electrical properties of the produced aluminum alloy wire, heat is applied at a certain time and temperature in heat treatment furnaces. Considering the heat treatment time and degree applied in this study, the properties before and after the heat treatment will be compared and the effect of the heat treatment process on the wire will be shown with experimental studies. Mechanical and electrical tests of AAAC 774 AL7 conductor made of alloy wires and ACSR Pheasant conductors made of aluminum wires knitted on steel cores will be carried out and the two conductors will be compared considering some parameters in line selection.

To Cite: KİSTİ E., SAYIN E., OCAK N., FEYZİOĞLU A. Application of Heat Treatment to Aluminum Alloy Wires and Comparison of Full Alloy AAAC Conductor Manufactured with These Wires and Conventional ACSR Stranded Conductors. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1354-1369.

1. Introduction

In the continuous casting line fed with aluminum ingots, the aluminums are melted and liquefied. If the alloy is desired to be produced, 6000 series alloying elements such as Si-Mg are added at the rates determined according to the product desired to be obtained, while the aluminum in liquid form is taken into the quenching furnace. Alloyed liquid is transmitted to the copper wheel with the help of aluminum refractory runners (Figure 1).



Figure 1. Melting and resting furnaces

Here the liquid metal, which solidifies by cooling the copper wheel with water with the help of nozzles, is processed in the rolling unit and shaped to produce 9.5 mm aluminum alloy rod.

In order to produce the wire with the diameter specified in the standards for the overhead line conductor to be produced, 9.5 mm aluminum/alloy rod semi-finished product is used in the wire drawing process. In alloy production, 9.5 mm aluminum alloy rod is heat-treated at 550 -580 °C for 6-8 hours in order to increase the machinability of the semi-finished product, and then used in the wire drawing process.

The 9.5 mm aluminum/alloy rod semi-finished product given to the wire drawing machines is passed through the rolling series adjusted at a certain reduction ratio according to the wire diameters that make up the final product desired. Since no heat is applied during this process, it is called cold forming. The wires produced after this process are wound on bobbins to be used in the next stranding process.

Aluminum alloy wires produced using a heat-treated 9.5 mm aluminum alloy rod cannot provide the minimum conductivity required by the standard at the end of the drawing process (Figure 2).



Figure 2. Heat treatment applied to aluminum wires

Wires are stranded in stranding machines according to the number of wires, number of layers and wire diameter specified in the standards, forming conductors.

In this study, conductivity, elongation and strength values from mechanical and electrical tests will be tested before and after the heat treatment applied for alloy wires and the results will be compared. After the evaluation of the compliance of the results with the standard, the importance of the time and temperature values of the applied heat treatment will be emphasized and it will be shown that the application is in the optimum range as a result of the experience obtained from the previous processes. AAAC 774 AL7 conductor, which is approximately the same diameter as the ACSR Pheasant conductor, which is the most used in high voltage transmission lines in Turkey, and which is preferred abroad, will be tested and its properties will be compared.

2. Material and Methods

2.1. Comparison of the values of aluminum alloy wires before and after heat treatment

Aluminum alloy wires can not meet some desired mechanical and electrical properties at the end of the wire drawing process. The main purpose of heat treatment of alloy wires is to obtain the values given in the standards and/or specifications. For AAAC 774-AL7 conductor, 4.02 mm AL7 wire will be

produced in wire drawing process by using 9.5 mm aluminum alloy rod. The specifications of 4.02 mm AL7 wires given in the BS EN 50183 standard Table 1 (Table 1) (BS EN 50183:2000 Standard).

Table 1. Properties of 4,02 mm AL7 wire after heat treatment (BS EN 50183 Table 1)

TYPE	NOMINAL CONDUCTIVITY (%IACS)	DIAMETER RANGE (mm)	MINIMUM TENSILE STRENGTH (N/mm ²)	MINIMUM ELONGATION (250 mm) (%)	MAXIMUM RESISTIVITY (Mean of a lot) nΩ.m
AL7	57.5	4.00 – 5.00	255	3.0	30.0

The tests to be compared for 4.02 mm AL7 before and after heat treatment are the diameter, tensile strength, elongation and conductivity tests specified in the BS EN 50182 standard Table 1 (Table 1).

Diameter measurement test: The diameter will be the average of two readings taken at right angles to each other at the same location, rounded up to two decimal places of one millimeter. Diameter tolerance for wires over 3mm is ±1% (BS EN 50183:2000 Standard).

Strength and elongation test: A force is applied to the wire by the wire drawing device until the wire breaks. The breaking strength is determined by dividing the breaking force by the initial cross-sectional area. The elongation at break is calculated with the wire length and initial length information after breaking.

Conductivity test: In order to calculate the conductivity value, the resistivity of the conductor must be calculated first. Resistivity is calculated according to the formula in 1.1.

The volume resistivity is defined as the resistance of a conductor of unit length and unit cross-sectional area. Its value at a reference temperature t_0 is calculated from the following formula (1.1):

$$\rho(t_0) = \frac{A(t_0) \times R(t_0)}{L(t_0)} \quad (1.1)$$

where:

$\rho(t_0)$ = volume resistivity at the reference temperature t_0

$R(t_0)$ = resistance between the ends of the gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

$A(t_0)$ = cross-sectional area of the specimen at the reference temperature t_0

$L(t_0)$ = gauge length of the specimen at the reference temperature t_0

(IEC 60468 Method of Measurement of Resistivity of Metallic Materials, 1st Edition, January 1974, Page 7)

According to the determined diameters of the cylindrical aluminum wires, the cross-sectional area is calculated according to the formula 1.2;

$$A(t_0) = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1.2)$$

A(to) cross-sectional area of the specimen at the reference temperature to (mm^2) and D represents the diameter of the conductor (mm).

The rated d.c. (direct current) resistance of the conductor up to three determination figures in Ω/km at 20°C is based on the resistivity value and the nominal diameter of aluminum-clad steel and aluminum wires for calculation purposes (BS EN 50182:2001 Standard).

The conductivity calculation is calculated with reference to the resistivity of the annealed copper defined in the standards. The conductivity unit is IACS (International Annealed Copper Standard). Resistivity of annealed copper is accepted as 17.241 n.ohm.mt 100% IACS in conductor standards. After calculating the resistivity, the inverse ratio is established by taking the resistivity value of 17.241 n.ohm.mt versus the 100% IACS conductivity value as a reference.

In the first study, the strength, elongation and conductivity values of the wires will be compared before and after heat treatment. The applied heat treatment time has been determined by the experience learned from the previous productions. It is also possible to determine these values using artificial intelligence.

2.2. Comparison of steel core aluminum conductors and full aluminum alloy conductors in transmission lines

In order for the conductors to be used in power transmission and distribution lines to provide the required performance, they must meet some requirements according to the line characteristics. Some of these features are;

- a. Conductivity
- b. Unit Weight
- c. Conductor Diameter,
- d. Deflection,
- e. Mechanical Strength

a) Conductivity

The conductive material to be used in overhead lines should have high conductivity, that is, low resistance. Because it is desired that the power loss in the lines during transmission is minimal (Havai Enerji Hatları, 2011).

b) Specific weight

One of the most important factors affecting the conductor in terms of mechanical strength is the weight of the conductor. The specific gravity has a great effect on the mechanical stress of the conductors. For this reason, the specific gravity of the conductors used in overhead lines should be

small. Due to its low specific weight, economy is provided in mast and overhead line hardware materials (Havai Enerji Hatları, 2011).

c) Conductor Diameter

The larger the conductor diameter, the greater the ice load, wind load and tensile force on the conductor. In conductors with larger diameters, more snow and ice loads are accumulated, and the wind effect becomes larger. This adversely affects the mechanical strength of the conductor (Havai Enerji Hatları, 2011).

d) Deflection

In high voltage power transmission lines, the sagging of the conductor stretched between two poles due to its own weight and the snow and ice loads accumulating on it is called deflection. The length of the distance between the poles where the conductor is used, the weight of the conductor, the wind and ice loads on the conductor, etc. increase the deflection (Havai Enerji Hatları, 2011).

e) Mechanical Strength

Overhead line conductors are always exposed to external influences and loads caused by them. The loads (snow, ice, wind) that may come to the overhead lines and their own weight must be able to be safely carried by the conductor (Havai Enerji Hatları, 2011).

In the second study, the effects on the line parameters will be examined by applying the diameter measurement, mass per unit length, complete resistance and complete breaking tests to the steel core aluminum conductor ACSR Pheasant and the full aluminum alloy conductor AAAC 774 AL7. The properties of the conductors in the standard are given in BS EN 50182 standard Table F.37 (Table 2) and BS EN 50182 standard Table F.25 (Table 3).

Table 2. AAAC 774-AL7 technical specifications (BS EN 50182 Table F.37)

CODE	WIRE DIAMETER (mm)	CONDUCTOR DIAMETER (mm)	MASS PER UNIT LENGTH (kg/km)	RATED STRENGTH (kN)	DC RESISTANCE (Ω/km)
774-AL7	4.02	36.2	2139.8	197.43	0.0397

Table 3. ACSR PHEASANT technical specifications (BS EN 50182 Table F.25)

OLD CODE	WIRE DIAMETER (mm)	CONDUCTOR DIAMETER (mm)	MASS PER UNIT LENGTH (kg/km)	RATED STRENGTH (kN)	DC RESISTANCE (Ω/km)
FA 405	3.90 – Al	35.1	2423.8	196.36	0.0448
PHEASANT	2.34 – St				

Tests for AAAC 774 and ACSR Pheasant Conductor;

1-Conductor diameter measurement: Conductor diameters will be measured using caliper.

2-Conductor resistance: Conductor resistance will be made with a device capable of measuring the complete resistance.

3-Mass per unit length of conductor: Conductor weight will be measured using a digital scale. The conductor length will be measured using a tape measure. Conductor unit weight will be calculated by dividing the measured weight of the conductor by its measured length.

4-Tensile strength test of the conductor: The conductors are completely connected to the breaking test device and the load is applied to the conductor until it breaks. The force value given by the device at the moment it breaks gives the breaking strength in tensile.

The devices used in the experiments and the calibration status of the devices are given in Table 4.

Table 4. Devices used in tests and calibration status of devices

TEST DESCRIPTION	EQUIPMENT DESCRIPTION	MARK-SERIAL NO	CALIBRATION RANGE
Diameter Measurement	Digital Micrometer	Mitutoyo 85014274	04.08.2021-04.08.2022
	Digital Caliper	Mitutoyo 09030184	04.08.2021-04.08.2022
Resistance Measurement	Resistance Measuring Device	Burster 2316-397492	17.08.2021-17.08.2022
Mass per unit length of conductor	Digital Balance	Dikomsan KD-KCS- 6000 64403	16.08.2021-16.08.2022
	Meter	Fisco EMT-ŞMT- 00	04.08.2021-04.08.2022
Tensile strength test of the conductor	Horizontal Breaking Machine	Baykon 1526001H6	17.08.2021-17.08.2022

3. Results and Discussion

In the works to be done;

1- The strength elongation and conductivity values of 4.02 mm AL7 wire to be used in the production of AAAC 774 AL7 conductor will be compared before and after heat treatment, and the effects of heat treatment on the alloy wire will be examined.

2- For ACSR Pheasant conductor and AAAC 774 AL7 conductor, diameter, mass per unit length, complete resistance measurement and tensile breaking strength tests will be performed. Two conductors will be compared by considering some parameters in line selection.

Conductors manufactured with wires that are hardened by heat treatment have the same cross-section as ACSR, but have higher strength, more energy carrying capacity and are lighter. On the other hand, its price is higher than ACSR. However, despite this, it has started to find widespread use because it compensates for this with its ability to transport more energy in the 2-3 year term. (Karabay et al., 2005)

The International Energy Agency announced that world energy consumption has increased by 45% since 1980 and will be 70% higher by 2030. The energy policy of the future will be on the triad of saving, energy efficiency and renewable energy.(İşler, 2009)

Although the investment cost of AAAC alloy conductors is higher than ACSR conventional conductors, it provides advantages in the long run thanks to its contribution to energy efficiency.

3.1. Properties of aluminum alloy 4.02 mm AL7 wires before and after heat treatment

Heat treatment was applied to 4.02 mm Al7 coils between 180 °C and 190 °C for 8 hours. 61 wires to be used in the conductor were numbered starting from 1 and tests were carried out before and after heat treatment.

Resistivity

The resistivity of the wires was calculated by measuring the resistance values before and after the heat treatment (Table 5).

The resistance value of wire number 1, measured at 1 meter length before heat treatment, is 2.491 mΩ/m (Figure 3).

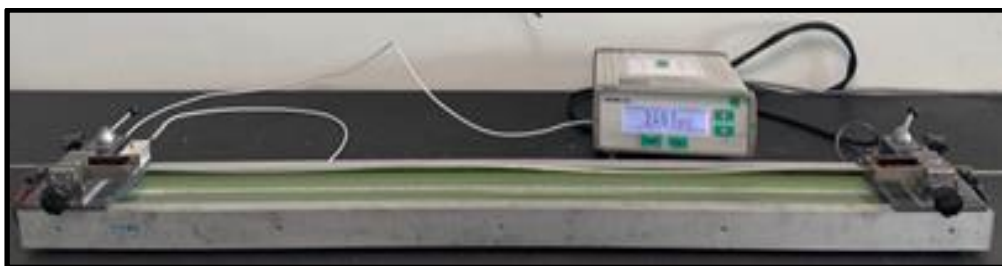


Figure 3. 4,02 mm alloy wire resistance measured before heat treatment

Cross-sectional area of wire 4.02 mm (S) (Formula 1.2 has been applied.);

$$S = (\pi \times (4.02)^2) / 4 = 12.69 \text{ mm}^2$$

Resistivity value (ρ) (Formula 1.1 has been applied);

$$\rho = (2.491 \text{ m}\Omega \times 12.69 \text{ mm}^2) / 1 \text{ m} = 31.611 \text{ n}\Omega \text{ m}$$

17.241 n Ω m resistivity ——— %100 IACS conductivity

31.611 n Ω m resistivity ——— Conductivity value

There is an inverse proportion between conductivity and resistivity.

$$\text{Conductivity value} = (17.241 \times 100) / 31.611 = 54.54 \text{ IACS}$$

The resistance value of wire number 1, measured at 1 meter length after heat treatment, is 2.345 m Ω /m (Figure 4).



Figure 4. 4.02 mm alloy wire resistance measured after heat treatment

Cross-sectional area of wire 4.02 mm (S) (Formula 1.2 has been applied.);

$$S = (\pi \times (4.02)^2) / 4 = 12.69 \text{ mm}^2$$

Resistivity value (ρ) (Formula 1.1 has been applied.);

$$\rho = (2.345 \text{ m}\Omega \times 12.69 \text{ mm}^2) / 1 \text{ m} = 29.758 \text{ n}\Omega \text{ m}$$

17.241 n Ω m resistivity ——— %100 IACS conductivity

29.758 n Ω m resistivity ——— Conductivity value

There is an inverse proportion between conductivity and resistivity.

$$\text{Conductivity value} = (17.241 \times 100) / 29.758 = 57.94 \text{ IACS}$$

Table 5. 4.02 mm AL7 Aluminium alloy wire before and after heat treatment conductivity test results

<i>No</i>	4.02 mm Al alloy wire before heat treatment Conductivity (%IACS)	4.02 mm Al alloy wire after heat treatment Conductivity (%IACS)
1	54.54	57.94
2	54.80	57.83
3	54.65	57.86
4	54.78	57.65
5	55.77	58.03
6	54.49	57.88
7	54.73	57.66
8	54.37	57.73
9	54.62	57.85
10	54.75	57.78
11	54.52	57.77
12	54.69	57.62
13	55.58	57.98
14	54.61	57.82
15	54.73	57.85
16	54.67	57.92
17	54.77	57.67
18	54.65	57.72
19	54.83	57.85
20	54.76	57.63
21	55.47	57.86
22	54.66	57.75
23	54.38	57.68
24	54.57	57.77
25	54.69	57.82
26	54.71	58.05
27	54.28	57.59
28	54.84	57.83
29	54.21	57.73
30	54.64	57.91
31	54.48	57.66
32	55.69	57.94
33	54.62	57.76
34	54.86	57.85
35	54.45	57.92
36	55.21	57.70
37	55.48	58.15
38	54.69	57.92
39	55.27	57.85
40	54.53	57.73
41	54.86	57.68
42	55.23	58.10
43	54.47	57.98
44	54.21	57.71
45	55.17	57.85
46	54.67	57.93
47	54.91	57.78
48	54.03	57.94
49	54.95	57.76
50	54.88	57.69
51	55.33	57.78
52	55.41	57.63
53	54.28	57.78
54	55.67	57.82
55	54.93	57.65
56	54.18	57.73
57	54.71	57.68
58	55.08	57.76
59	54.85	57.92
60	54.93	57.61
61	55.13	57.73

Tensile strength

The strength and elongation values of the wires before and after heat treatment (Table 6) were measured using a tensile tester (Figure 5).

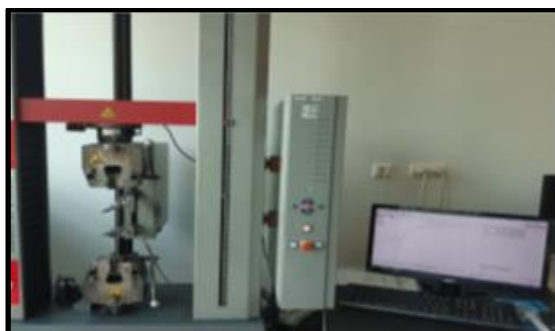


Figure 5. Tensile Tester

Table 6. 4.02 mm AL7 Al alloy wire before and after heat treatment tensile strength and elongation test results

No	4.02 mm Al alloy wire before heat treatment		4.02 mm Al alloy wire after heat treatment	
	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
1	276	4.3	261	7.0
2	271	5.0	265	5.4
3	272	3.6	263	5.0
4	269	4.0	264	5.4
5	276	3.2	262	5.2
6	281	4.0	275	5.8
7	270	3.4	265	4.4
8	276	1.3	273	5.6
9	271	4.9	258	5.9
10	263	3.6	260	4.9
11	275	4.1	275	5.2
12	272	5.3	260	7.1
13	271	4.4	268	5.1
14	268	3.9	269	5.6
15	272	3.1	261	4.2
16	276	4.0	265	5.3
17	269	2.7	269	5.4
18	275	4.2	260	5.1
19	276	4.0	260	5.1
20	277	4.9	266	5.4
21	270	5.0	267	5.3
22	268	4.9	261	6.2
23	271	5.0	273	6.1
24	266	3.4	258	5.2
25	272	4.0	261	5.7
26	268	3.9	262	4.8
27	271	3.4	266	6.3
28	270	5.4	261	5.4
29	280	5.2	264	4.8
30	278	4.9	259	4.4
31	274	4.5	265	5.8
32	271	4.4	256	5.6
33	281	4.6	263	6.3
34	269	4.1	272	5.6
35	265	1.5	267	5.8
36	280	5.3	264	6.0
37	268	4.5	262	5.2
38	273	4.4	272	5.8
39	276	4.6	271	5.5
40	273	4.7	269	4.6

41	277	3.9	268	5.6
42	266	1.4	272	5.8
43	268	5.1	262	5.5
44	267	5.0	264	5.0
45	267	5.0	264	5.5
46	279	4.6	274	5.5
47	269	4.9	268	5.1
48	271	4.2	262	5.5
49	279	2.7	264	5.8
50	270	4.7	267	5.7
51	259	1.9	275	6.8
52	271	3.7	264	4.0
53	272	4.5	269	5.9
54	272	4.9	268	4.9
55	266	2.5	269	4.5
56	271	3.2	260	5.7
57	274	5.1	259	6.1
58	277	3.4	273	6.6
59	275	4.1	263	6.1
60	281	6.0	271	5.6
61	278	3.8	265	4.2

3.2. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductor tests

By taking samples from AAAC 774 AL7 conductor and ACSR Pheasant conductor (Figure 6), diameter, mass per unit length, complete resistance measurement and tensile strength tests were applied to the conductors.

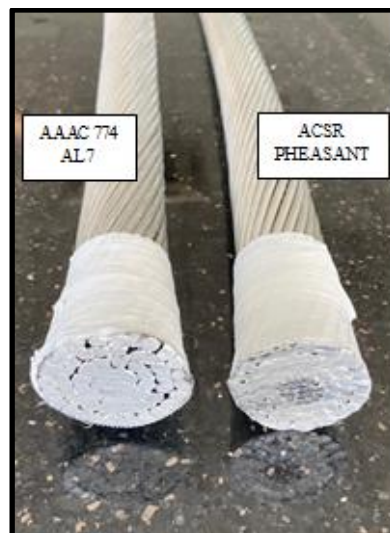


Figure 6. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant Conductor

3.2.1. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductor diameter measurement test

The diameter of the AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductors was measured using caliper. Conductor diameters should not vary by more than $\pm 1\%$ for conductors greater than or equal to 10 mm (BS EN 50183:2000 Standard).

AAAC 774 AL7 conductor diameter measured 36.25 mm (Figure 7). ACSR Pheasant conductor diameter measured 35.15 mm (Figure 8).



Figure 7. AAAC 774 AL7 conductor diameter



Figure 8. ACSR Pheasant conductor diameter

3.2.2. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductor complete resistance measurement

Conductor resistances were measured using a complete resistance measuring device (Figure 9). Conductor complete resistance should not be greater than the maximum resistance value given in the related standard.



Figure 9. Complete resistance measuring device

ACSR Pheasant resistance value is measured as 0.0434 mΩ/m (Figure 10). (The maximum value given in the Table 3 ACSR PHEASANT Technical Specifications (BS EN 50182 Table F.25) is 0.0448 mΩ/m).

AAAC 774 AL7 conductor resistance value is measured as 0.0376 mΩ/m (Figure 11). (The maximum value given in the Table 2 AAAC 774-AL7 Technical Specifications (BS EN 50182 Table F.37) is 0.0397 mΩ/m).



Figure 10. ACSR Pheasant conductor resistance



Figure 11. AAAC 774 AL7 conductor resistance

3.2.3. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductor measurement of mass per unit length

The product weight was measured in grams using a balance, and the conductor length was measured in mm using a tape measure (Figure 12). The unit weight was calculated by dividing the conductor weight by its length.

The mass of the conductor per unit length shall not vary by more than $\pm 2\%$ of its nominal value (BS EN 50183:2000 Standard).

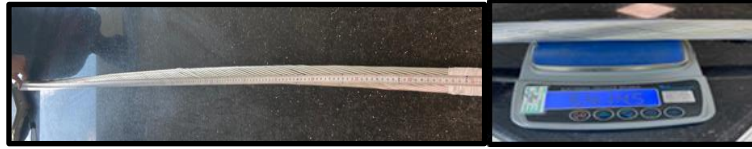


Figure 12. Measuring conductor length and weight

The ACSR Pheasant sample weight was 5414.5 g, and its length was measured as 2228 mm. Its unit weight is found as 2430.2 kg/km by dividing 5414.5 g by 2228 mm.

The weight of AAAC 774 AL7 sample was 4537 gr and its length was measured as 2120 mm. The mass per unit length is calculated as 2140 kg/km by dividing 4537 gr by 2120 mm.

3.2.4. AAAC 774 AL7 and ACSR Pheasant conductor tensile strength test

Complete breaking values of AAAC 774 AL7 and ACASR Pheasant conductors were determined using the complete breaking device (Figure 13).

Conductor complete breaking value should not be less than the minimum breaking value given in the standard.



Figure 13. Tensile breaking strength test

As a result of the test, the ACSR Pheasant Breaking load was measured as 238.48 kN. (Minimum value given in EN 50182 Standard Table F.25 (Table 3) is 196.36 KN)

AAAAC 774 AL7 conductor breaking load is measured as 242.57 KN. (Minimum value given in EN 50182 Standard Table F.37 (Table 2) is 197.43 KN)

4. Conclusion

In the first study, the effects of heat treatment on the alloy wire were investigated by comparing the strength, elongation and conductivity values of 4.02 mm AL7 wire before and after heat treatment. For 4.02 mm AL7 wire, the minimum elongation required in the standard is 3%, the minimum strength is 255 MPa and the minimum conductivity is 57.5 IACS. Although the strength values before heat

treatment are above 255 MPa, it is seen that the elongation values of some wires are less than 3%. It is seen that the conductivity values of 4.02 mm AL7 aluminum alloy wire are below the desired 57.5 IACS. In order to increase the low elongation values and low conductivity values, it is seen that the elongation and conductivity values are increased by increasing the elongation and conductivity values for 61 wires as a result of applying heat treatment to 4.02 mm AL7 aluminum alloy wire in the range of 185 ° C- 190 ° C for 8 hours. Although the strength values after the heat treatment decreased compared to the values before the heat treatment, it is seen that it is above 255 MPa, which is the lowest value required by the standard. It has been observed that heat treatment is required for aluminum alloy wires to comply with the standard.

In the second study, diameter, mass per unit length, complete resistance measurement and complete tensile strength tests were performed for ACSR Pheasant conductor and AAAC 774 AL7 conductor.

As a result of the conductor diameters test, the diameter was measured 36.25 mm for the AAAC 774 AL7 conductor and the diameter was 35.15 mm for the ACSR Pheasant conductor. Although the conductor diameters are almost the same, the ACSR Pheasant conductor with a low diameter will be advantageous in energy transmission and distribution lines as it will be less exposed to wind and ice load than the AAAC 774 AL7 conductor.

As a result of the conductor resistance test, the ACSR Pheasant conductor total resistance value was measured as 0.0434 mΩ/m and the AAAC 774 AL7 conductor complete resistance value was measured as 0.0376 mΩ/m. The resistance of the AAAC 774AL7 conductor is very low compared to the ACSR Pheasant conductor. Since the line losses of the AAAC 774 AL7 conductor will be lower than the line losses of the ACSR Pheasant conductor, the AAAC 774AL7 conductor will provide an advantage in energy transmission and distribution lines.

As a result of the conductor mass per unit length test, it was measured as 2430.2 kg/km for ACSR Pheasant and 2140 kg/km for AAAC 774 AL7 conductor. It has been observed that the unit weight of AAAC 774 AL7 conductor is less than ACSR Pheasant conductor. Since the deflection performance of AAAC 774 AL7 conductor with lower unit weight will be better than ACSR Pheasant conductor, AAAC 774AL7 conductor will be advantageous in energy transmission and distribution lines.

As a result of the conductor complete breaking strength test, the ACSR Pheasant breaking load was measured as 238.48 kN and the AAAC 774 AL7 conductor breaking load was measured as 242.57 kN. Since AAAC 774 AL7 conductor has higher mechanical strength than ACSR Pheasant conductor, AAAC 774AL7 conductor will provide advantage in energy transmission and distribution lines.

Acknowledgment

This study was supported by Emta Kablo San. Ve Tic. A.Ş. The author acknowledges the Emta Kablo San. Ve Tic. A.Ş. EMTA R&D Center Projects Unit.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest in the content of this article.

Author's Contributions

The contribution of the author's is equal.

References

- BS EN 50183:2000 Conductors for overhead lines. Aluminium-magnesium-silicon alloy wires, Page 5-6.
- BS EN 50182:2001 Conductors for overhead lines - Round wire concentric lay stranded conductors. Page 6, 8, 10, 50, 61.
- Havai Enerji Hatları 522EE0131. Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Ankara 2011; 14-17.
- IEC 60468 Method of Measurement of Resistivity of Metallic Materials, 1st Edition, January 1974, Page 7
- İşler T. Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği. Ege Bölgesi Enerji Forumu 12-13 Ekim 2009, Denizli
- Karabay S., Tayşı Y., Yılmaz M. Isıya dayanıklı Al-Zr alaşımlı iletkenlerin teknik karakteristikleri ve geleneksel iletkenlerle karşılaştırılması. Mühendis ve Makine 2005; 46(540): 13.

Destek Vektör Makinelerinin Wi-Fi Tabanlı İç Mekan Lokalizasyon Tespitinde Kullanımı ve Çekirdek Fonksiyon Seçiminin Sınıflandırma Performansına Etkisi: Anaokulu Öğrencilerinin Konumlarını Bulma Örneği

Ebru EFEÖĞLU^{1*}

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Kütahya

¹<https://orcid.org/0000-0001-5444-6647>

*Sorumlu yazar: ebru.efeoglu@dpu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.01.2022

Kabul tarihi: 07.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kablosuz sinyal gücü

Destek vektör makineleri

Çekirdek fonksiyon

İç mekan konum belirleme

ÖZ

Son yıllarda çocuk güvenliğindeki sorunlar nedeniyle iç mekanlarda çocukların yerini tespit etme çalışmalarının önemi artmıştır. Bu çalışmada kablosuz sinyal gücü ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritması kullanılarak farklı odalardaki çocukların konumları tespit edilmiştir. Ayrıca algoritmanın sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri farklı çekirdek fonksiyonları kullanılarak incelenmiş ve performans analizi için çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. Performans analizinde, Karışıklık matrisi, Kesinlik, Duyarlılık, F-Skoru, AUC, Doğruluk, Kappa istatistik değeri ve Kök Ortalama Kare Hata değeri incelenmiştir. Analizi sonucunda doğrusal çekirdek fonksiyonları tercih edildiğinde en yüksek performans metrikleri elde edilmiş ve %97,9 başarı elde edildiği gözlemlenmiştir.

The Use of Support Vector Machines in Wi-Fi Based Indoor Localization Detection and the Effect of Kernel Function Selection on Classification Performance: An Example of Finding the Location of Kindergarten Students

Research Article

Article History:

Received: 14.01.2022

Accepted: 07.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

WiFi

Support vector machines

Kernel

Indoor localization

ABSTRACT

In recent years, the importance of locating children indoors has increased due to the problems in child safety. In this study, the locations of children in different rooms were determined by using wireless signal strength and Support Vector Machines classification algorithm. In addition, the effects of the algorithm on the classification performance were examined using different kernel functions and cross-validation technique was used for performance analysis. In the performance analysis, Confusion matrix, Precision, Sensitivity, F-Score, AUC, Accuracy, Kappa statistical value and Root Mean Square Error value were examined. As a result of the analysis, when linear kernel functions are preferred, the highest performance metrics were obtained and 97.9% success was observed.

To Cite: Efeoğlu E. Destek Vektör Makinelerinin Wi-Fi Tabanlı İç Mekan Lokalizasyon Tespitinde Kullanımı ve Çekirdek Fonksiyon Seçiminin Sınıflandırma Performansına Etkisi: Anaokulu Öğrencilerinin Konumlarını Bulma Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1370-1382.

1. Giriş

Anaokulları çocukların sosyalleştiği, bilgi ve beceri öğrendiği, deneyimler elde ettiği yerlerdir (Yıldız ve Bektaş, 2021). Çocuklar okullarda çevresini tanıma merakı içerisindeyler ve onlar için okul yapısı birer öğretim aracıdır (Sıvacılar, 2021). Bu nedenle çocuk psikolojisinin gelişimini, güvenliğini, işlevselliğini geliştirmek için anaokulu iç mekân oyun alanlarına yönelik kavramsal yaklaşımlar incelenmiş ve uygun alanlar tasarlanmıştır (Öztürk ve Tayılga, 2021). Son zamanlarda ebeveynlerin

anaokulların güvenliğine ilişkin endişelerinin artması okullarda güvenlik önlemlerinin artırılmasına yönelik talepleri de arttırmıştır (Karadaş, 2021). Okullarda güvenliğin sağlanması öğrencilerin sağlığı ve ebeveynlerin huzuru için gereklidir (Karadaş, 2021). Okullardaki güvenlik probleminin aşılmasında yeni teknolojilerden faydalanılmaktadır. Oldukça karmaşık ve zor olan konum belirleme uygulamaları, sayısı ve kullanım oranı her geçen gün artan akıllı telefonlar (Caneren ve ark., 2021) sayesinde yapılabilmektedir. Örneğin, android tabanlı bir akıllı telefon ile Web ve GPS tabanlı hizmetler için yerel uygulamalar tasarlanmıştır (Shu ve ark., 2009). Java tabanlı akıllı telefonlarda GPS sistemlerinden yararlanılarak kullanıcının konumunu gösteren sistemler (Chandra ve ark., 2011), acil durum senaryoları (Liao ve ark., 2011) oluşturulmuştur. Yine Android işletim sistemine sahip bir telefona web tabanlı çocuk takip sistemi oluşturulmuştur (Bayıroğlu ve Ayan, 2014). Çocukların dış ortamda konumunun belirlenmesinde GPS yönteminin kullanılmasına karşın iç ortamlarda bu yöntem iyi sonuçlar vermemektedir (Bejuri ve Mohamad, 2014). Nedeni uydu sinyallerinin iç ortamlarda bulunan duvarlar nedeniyle zayıflamasıdır. Anaokulu çocuklarının güvenliğinin tam olarak sağlanabilmesi için bakım personeline yardımcı olabilecek, çocukların okul içindeki konumlarını belirleyebilecek sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bina içinde konum belirleme çalışmalarında Bluetooth sinyal gücüne dayalı sistemler (Rida ve ark., 2015), Radyo Frekans sinyal gücü ölçümlerine dayalı sistemler (Seco ve ark., 2013) ve çoklu optik alıcılar (Yasir ve ark., 2015) kullanılmıştır. Ayrıca (Chen ve Huang, 2009) tarafından yeni bir konum belirleme yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada kablosuz sinyal gücü kullanılarak bina içi konum tespiti yapılmaktadır.

Çalışmanın amacı anaokullarındaki çocukların bina içindeki konumlarını yüksek doğruluk oranı ile belirleyebilmektir. Bina içinde çocukların yeri tespit edilebildiğinde Anaokulunda çalışan bakım personelinin iş yükü azalacak ve çocukların güvenliği sağlanmış olacaktır. Güvenlik sorunu yaşamayan ebeveynler çocuklarını gönül rahatlığı ile okula gönderebilecek ve daha verimli çalışabileceklerdir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölüm, çalışmada kullanılan veri seti, sınıflandırma algoritmaları ve performans metrikleri hakkında bilgiler içermektedir.

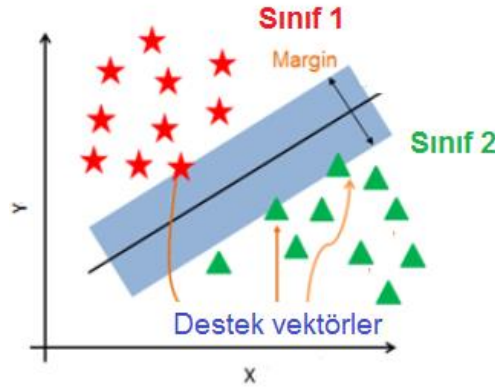
2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti UCI (Frank, 2010) kütüphanesinden alınmıştır. Veri setinde farklı odalarda bulunan insanların cep telefonları ile 7 farklı kablosuz sinyal gücü ölçümünden oluşan 2000 adet ölçüm bulunmaktadır. Daha önce bu veriler (Rohra ve ark., 2017) tarafından kullanılarak bulanık parçalı sürü optimizasyonu yöntemi ile konum belirleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca bu veriler konum belirleme çalışmasında farklı sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır (Sabancı ve ark., 2018). Bu çalışmada ise Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması ile konum

belirleme çalışması yapılmış ve farklı çekirdek fonksiyon seçiminin DVM algoritmasının konum bulma performansına etkisi de incelenmiştir.

2.2. Destek Vektör Makinesi (DVM)

İstatistiksel öğrenme teorisini temel alan parametrik olmayan bir makine öğrenmesi yöntemidir (Cortes ve Vapnik, 1995) Algoritma, sınıfları birbirinden ayırabilecek en uygun hiper düzlemi bulmaya çalışır. Hiper düzlem ve Destek Vektörler Şekil 1’de gösterilmiştir. Burada hiper düzlem, farklı sınıflara ait elemanlar arasında ayırım yapan bir karar düzlemidir. Bu düzleme en yakın olan veri noktaları da destek vektörleri oluşturmaktadır. En yakın sınıf noktalarındaki iki çizgi arasındaki boşluk Marj olarak adlandırılır. Bu değerin büyük olması marjın iyi olduğunu ifade eder (Cortes ve Vapnik, 1995).



Şekil 1. Hiper düzlem ve destek vektörler

Doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılmasında DVM kullanıldığında doğrusal olarak ayrılmayan girdi uzayının bir üst boyuta değişik yapıdaki çekirdek fonksiyonlarla taşınır. Bu çalışmada değişik DVM modellerini oluşturmak amacıyla Doğrusal, Gaussian, Polinomial, Radyal tabanlı fonksiyon ve Sigmoid çekirdek fonksiyonları kullanılmıştır.

Doğrusal çekirdek fonksiyonu: Doğrusal çekirdek, en basit çekirdek fonksiyondur. Doğrusal bir çekirdek, verilen herhangi iki gözlemde normal nokta çarpımı olarak kullanılabilir. İki vektör arasındaki çarpım, her bir girdi değeri çiftinin çarpımının toplamıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j \quad (1)$$

Burada $K(x_i, x_j)$ kernel fonksiyonunu temsil eder.

Polinomial çekirdek fonksiyonu: Bir polinom çekirdeği, doğrusal çekirdeğin daha genelleştirilmiş bir şeklidir. Polinom çekirdeği, eğri veya doğrusal olmayan girdi uzayını ayırt edebilir. Polinomial çekirdek,

$$K(x_i, x_j) = (\alpha x_i^T x_j + p)^d \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki x_i ve x_j girdi uzayındaki vektörlerdir. Denklemde alfa (α) eğimi, p sabit terimi ve d polinom derecesini göstermektedir. Polinomal çekirdeği, tüm eğitim verilerinin normalleştirildiği problemler için uygundur.

Gaussian radyal tabanlı fonksiyon: Bazı girdi uzaylarında öznelik vektörleri olarak temsil edilen iki örnek x_i ve x_j üzerindeki Radyal tabanlı fonksiyon çekirdeğinin bir örneği olan Gauss çekirdeği ise

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\|x_i - x_j\|^2 / 2\sigma^2) \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $\|x_i - x_j\|^2$ iki özellik vektörü arasındaki kare Öklid mesafesi olarak kabul edilebilir. σ , Gauss çekirdeğinin genişliğini belirleyen ve çekirdeğin performansını önemli ölçüde etkileyen bir parametredir.

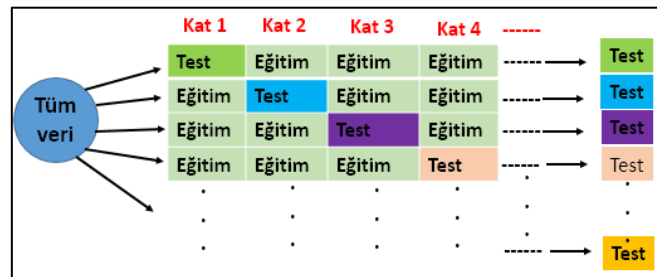
Sigmoid çekirdek fonksiyonu: Bu fonksiyon çekirdeği Hiperbolik Tanjant Çekirdeği ve Çok Katmanlı Algılayıcı çekirdeği olarak da adlandırılır. Eğimi α ve kesme sabitini δ ile gösterilirse Sigmoid fonksiyonu,

$$K(X_i, X_j) = \tanh(\alpha x_i^T x_j + \delta) \quad (4)$$

gibi ifade edilebilir. α için ortak bir değer ($1 / N$) kullanılabilir. Burada N değeri veri boyutunu ifade etmektedir.

2.3. Performans Değerlendirme Yöntemi ve Performans Metrikleri

Model istatistiksel performansını aynı veriler üzerinde eğitmek ve değerlendirmek, aşırı iyimser bir sonuç verir. Bu problemin üstesinden gelmek için algoritmanın çıktısının yeni veriler üzerinde test edilmesi gerekir (Arlot ve Celisse, 2010). Bunun için veri setinin parçalara ayrılması ve bir kısmının eğitim için bir kısmının ise test için kullanılması gerekir. Fakat veri seti parçalara ayrıldığında verinin dağılımına göre modelin eğitim ve testinde bazı sapmalar oluşabilir. Bu sapmaları en aza indirgeyebilmek için k - kat çapraz doğrulama işlemi uygulanır (Şekil 2). k - kat çapraz doğrulama yönteminde veri seti k eşit parçaya bölünür ve her parçanın eğitim ve test verisi olarak kullanımı sağlanır. k genellikle bu çalışmada olduğu gibi 10 seçilir.



Şekil 2. k - kat çapraz doğrulama yöntemine ilişkin grafiksel gösterim

2.3.1. Performans Metrikleri

Sınıflandırma yapılırken genellikle pozitif ve negatif olmak üzere iki sınıf tanımlanır (Orozco-Arias ve ark., 2019). Bu nedenle, beklenen sonuçlar pozitif olarak sınıflandırıldıysa ve pozitif sınıfta yer alıyorsa doğru pozitif (DP), reddedilmiş ancak negatif sınıfa ait değilse yanlış negatif (YN) olarak sınıflandırılabilir. Öte yandan, negatif sınıfta yer alan ve pozitif olduğu tahmin edilen örnekler yanlış pozitif (YP), değilse doğru negatif (DN) oluşturur (Orozco-Arias ve ark., 2019). Bu sonuçlardan yararlanılarak performans metrikleri hesaplanır. Kullanılan veri seti sınıflandırılırken performans ölçümünde kullanılacak metriklerin seçiminin iyi yapılması gerekir. Her metriğin değerlendirilen algoritmaların çeşitli yönlerini ölçen belirli özellikleri vardır (Li ve ark., 2009). Sınıflandırma performansı hakkında en fazla bilgi içeren metrik karışıklık matrisidir ve matris yapısı Şekil 3'te verilmiştir. Matriste mavi renkle gösterilenler DP ve DN değerleridir. Bu değerler doğru tahmin edilen verilerin sayısını gösterir. Matriste bulunan diğer değerler YN ve YP değerleridir. Bu değerlerde yanlış tahmin edilen verilerin sayısını göstermektedir.

		Tahmin edilen Sınıf			
		A	B	C	D
Gerçek Sınıf	A	Kişinin A odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekten de A odasında	Kişinin B odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte A odasında	Kişinin C odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte A odasında	Kişinin D odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte A odasında
	B	Kişinin A odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte B odasında	Kişinin B odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekten de B odasında	Kişinin C odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte B odasında	Kişinin D odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte B odasında
	C	Kişinin A odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte C odasında	Kişinin B odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte C odasında	Kişinin C odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekten de C odasında	Kişinin D odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte C odasında
	D	Kişinin A odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte D odasında	Kişinin B odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte D odasında	Kişinin C odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekte D odasında	Kişinin D odasında olduğu tahmin edilmiş ve kişi gerçekten de D odasında

Şekil 3. Karışıklık matrisi yapısı

Bu matris kullanılarak diğer metrikler hesaplanır. Kesinlik doğru tahminlerin yüzdesi (Schietgat ve ark., 2018) Duyarlılık doğru tespit edilen gerçek örneklerin yüzdesidir (Rawal ve Ramaswamy, 2011), Kesinlik ve Duyarlılık değerleri,

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (5)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{YN + DP} \quad (6)$$

biçimindedir. Bu metriklerin birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir fakat sadece bu metrikler algoritmanın performansını tam olarak ifade etmediğinden diğer metriklere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Örneğin Düşük duyarlılık ve yüksek kesinliğe sahip iki modeli ve bunun tersini karşılaştırmak zordur. Bu durumda F-ölçü değeri kullanılır. F-ölçütü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$F_Skoru = \frac{2 * Duyarlılık * Kesinlik}{Duyarlılık + Kesinlik} \quad (7)$$

Bir başka kullanılan performans ölçme metriği de Kappa istatistik değeridir. Bu değer, sınıflandırma sonucunda yapılan sınıflandırma ile bir veri kümesindeki gerçek sınıflandırmalar arasında ne kadar uyum olduğunu ölçmek için kullanılır. Sınıflandırma algoritmasının olasılıksal doğruluğu $P(x)$, Aynı veri kümesinde yapılan sınıflandırma olasılığının ağırlıklı ortalaması $P(y)$ ile gösterilirse Kappa değeri şu şekilde ifade edilir.

$$Kappa = \frac{P(x) - P(y)}{1 - P(y)} \quad (8)$$

ROC eğrisinin altında kalan alanın değeri de bize sınıflandırma performansı hakkında bilgi verir. Fakat pozitif ve negatif veri kümeleri dengesiz olması durumunda ROC eğrileri kümelerinde (Kamath, De Jong, ve Shehu, 2014) anlamsız performans ölçümleri yapabilir. Bir ROC eğrisinde, yatay eksen yanlış pozitif oranı (YPO), dikey eksen doğru pozitif oranı (DPO) gösterir. Bu eğrinin altındaki alan (AUC) sınıflandırma ölçütü olarak kullanılır. YPO ve DPO değerleri sırasıyla aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır:

$$YPO = \frac{YP}{YP + DN} \quad (9)$$

$$DPO = \frac{DP}{DP + YN} \quad (10)$$

Yine dengesiz veri setlerinde yanıltıcı sonuçlar veren doğruluk metriği şu şekilde hesaplanır:

$$Doğruluk = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (11)$$

RMS, gerçek değerler ile model tarafından tahmin edilen değerler arasındaki farkları ölçeklendirmek için kullanılan hata değeri ölçütlerinden en çok tercih edilen hata ölçütüdür.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_{ik} - A_k)^2} \quad (12)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada T_{ik} tahmin edilen değerdir ve A_k objektif değerdir. Hata değerinin sıfıra yaklaşması, sınıflandırma algoritmasının doğru tahmininin arttığı anlamına gelir.

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı amaçlar için iç mekanda konum belirleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda makine öğrenimi tekniklerinden sıklıkla yararlanılmıştır. İnsanların konumlarının otomatik olarak, kısa bir süre içinde belirlenebilmesi özellikle çocuk güvenliği açısından önemlidir. Makine öğrenmesi tekniklerinden yararlanılarak Wi-fi tabanlı konum belirleme çalışmalarında genellikle algoritma performans değerlendirmesi yapılırken sadece doğruluk değeri ve karışıklık matrisi göz önüne alınarak yapılmıştır (Sabancı ve ark., 2018). Oysaki bir algoritmanın sınıflandırma performansının değerlendirmesi için tek başına bu değerler yeterli değildir. Bununla birlikte literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde Yapay sinir ağları, Aşırı öğrenme algoritması, Karar ağaçları algoritmalarının kullanıldığı görülmüştür. Bu algoritmalar ile yapılan sınıflandırmalarda elde edilen doğruluk değerleri sırasıyla 96,6, 96,6 ve 95,8'dir (Sabancı ve ark., 2018). DVM algoritması ise doğrusal fonksiyon kullanıldığında %97,9 doğruluk oranı elde edilmiştir. Bu nedenle DVM algoritmasının Wi-fi tabanlı iç mekan konum belirlemede bu algoritmalarından daha başarılı olduğu söylenebilir. Bu çalışmada DVM algoritmasının performans değerlendirmesi yapılırken farklı metrikler göz önüne alınarak yapılmıştır. Kullanılan metriklerden ilki karışıklık matrisidir. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran özelliklerden biri de performans değerlendirmesi yapılırken hem çapraz doğrulama öncesi hem de çapraz doğrulama sonrası performans analizinin yapılmasıdır. Çapraz doğrulama öncesi ve sonrası yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen karışıklık matrisi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde Doğrusal fonksiyon ve polinomal fonksiyonun birbirine yakın sonuçlar verdiği ama doğrusal fonksiyonun daha fazla doğru tahmin sayısına sahip olduğu görülmektedir. Radyal temel fonksiyonu çapraz doğrulama öncesinde bütün odaları doğru tahmin etmesine karşın çapraz doğrulama sonrası yapılan sınıflandırmada doğru tahmin sayısında epeyce bir düşüş gözlenmiştir. Sigmoid fonksiyon kullanıldığında ise çapraz doğrulama öncesinde sadece D odasında bulunan kişileri doğru sınıflandırdığı görülmüştür. Algoritmanın çapraz doğrulama sonrası D odası doğru tahmin sayısının da düşüş gözlenmiştir.

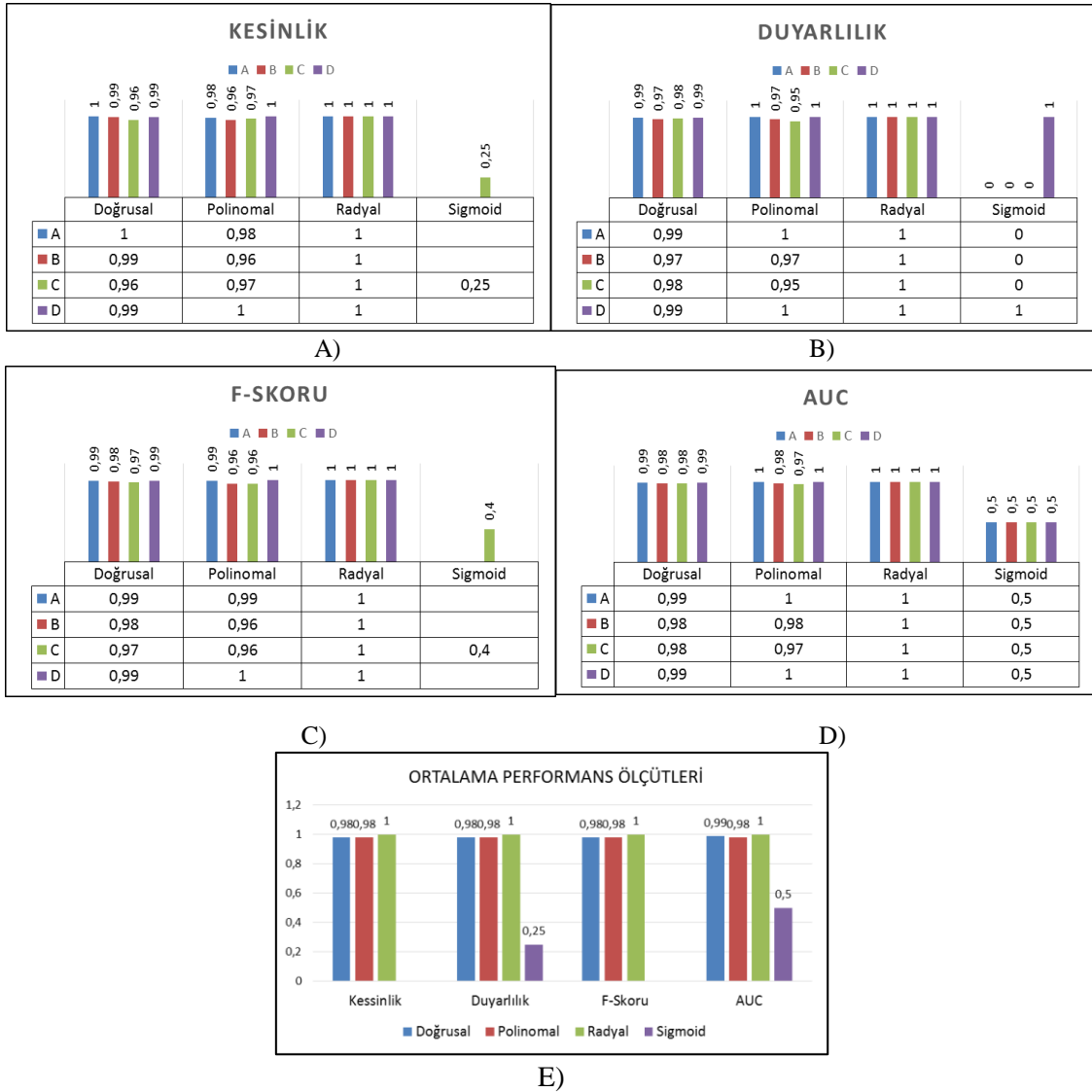
Diğer performans metriklerinin sonuçları çapraz doğrulama öncesi ve sonrası ayrı şekil ve tablolarda verilmiştir. Çapraz doğrulama öncesi yapılan sınıflandırma sonucu elde edilen performans metriklerinden Kappa, doğruluk ve hata değeri Tablo 1'de diğer performans metrikleri grafikler halinde Şekil 5'te verilmiştir. Tablo 1'e bakıldığında en düşük Kappa, doğruluk değeri ve en yüksek hata değeri sigmoid fonksiyonu kullanımında elde edilmiştir. Kappa değerinin düşük olması tahmin edilen sınıf ile gerçek sınıflar arasında düşük bir uyum olduğunu gösterir (Cohen, 1960). Doğruluk değerinin düşük olması da bu fonksiyon kullanılarak yapılan sınıflandırmada doğru tahmin edilen veri sayısının az olduğunu ifade etmektedir. Bu sonuç Sigmoid fonksiyon kullanılması durumunda algoritmanın başarısız sonuçlar verdiğini göstermektedir. En başarılı sonuç doğrusal fonksiyon

kullanımında elde edilmiştir. Doğrusal fonksiyon kullanımında Kappa değeri 0,98 doğruluk değeri de %98,8'dir.

		DOĞRUSAL											
		Tahmin edilen Sınıf				Tahmin edilen Sınıf							
		A	B	C	D	A	B	C	D				
Çapraz doğrulama öncesi	Gerçek Sınıf	A	499	0	1	0	Çapraz Doğrulama sonrası	Gerçek Sınıf	A	495	0	3	2
		B	0	485	15	0			B	0	482	18	0
		C	0	5	493	2			C	3	6	488	3
		D	0	0	1	499			D	2	0	4	494
		POLİNOMAL											
		Tahmin edilen Sınıf				Tahmin edilen Sınıf							
		A	B	C	D	A	B	C	D				
Çapraz doğrulama öncesi	Gerçek Sınıf	A	500	0	0	0	Çapraz Doğrulama sonrası	Gerçek Sınıf	A	496	0	1	3
		B	0	487	13	0			B	0	476	24	0
		C	1	20	479	0			C	3	28	466	3
		D	0	0	0	500			D	2	0	3	495
		RADYAL											
		Tahmin edilen Sınıf				Tahmin edilen Sınıf							
		A	B	C	D	A	B	C	D				
Çapraz doğrulama öncesi	Gerçek Sınıf	A	500	0	0	0	Çapraz Doğrulama sonrası	Gerçek Sınıf	A	376	124	0	0
		B	0	500	0	0			B	0	499	1	0
		C	0	0	500	0			C	0	149	351	0
		D	0	0	0	500			D	0	145	0	355
		SİGMOİD											
		Tahmin edilen Sınıf				Tahmin edilen Sınıf							
		A	B	C	D	A	B	C	D				
Çapraz doğrulama öncesi	Gerçek Sınıf	A	0	0	0	500	Çapraz Doğrulama sonrası	Gerçek Sınıf	A	200	150	50	100
		B	0	0	0	500			B	200	150	50	100
		C	0	0	0	500			C	200	150	50	100
		D	0	0	0	500			D	200	150	50	100

Şekil 4. Çapraz doğrulama öncesi ve sonrası elde edilen karışıklık matrisi

Şekil 5 incelendiğinde Sigmoid fonksiyonu kullanımında A,B ve D odası için kesinlik ve F-skoru değeri, A,B ve C odası için duyarlılık değerinin hesaplanmadığı görülmektedir. AUC değeri ise tüm odalar için 0,5 olarak hesaplanmıştır. Ortalama metrik değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin doğrusal fonksiyon kullanımında en düşük değerlerin ise sigmoid fonksiyon kullanımında gerçekleştiği görülmektedir.

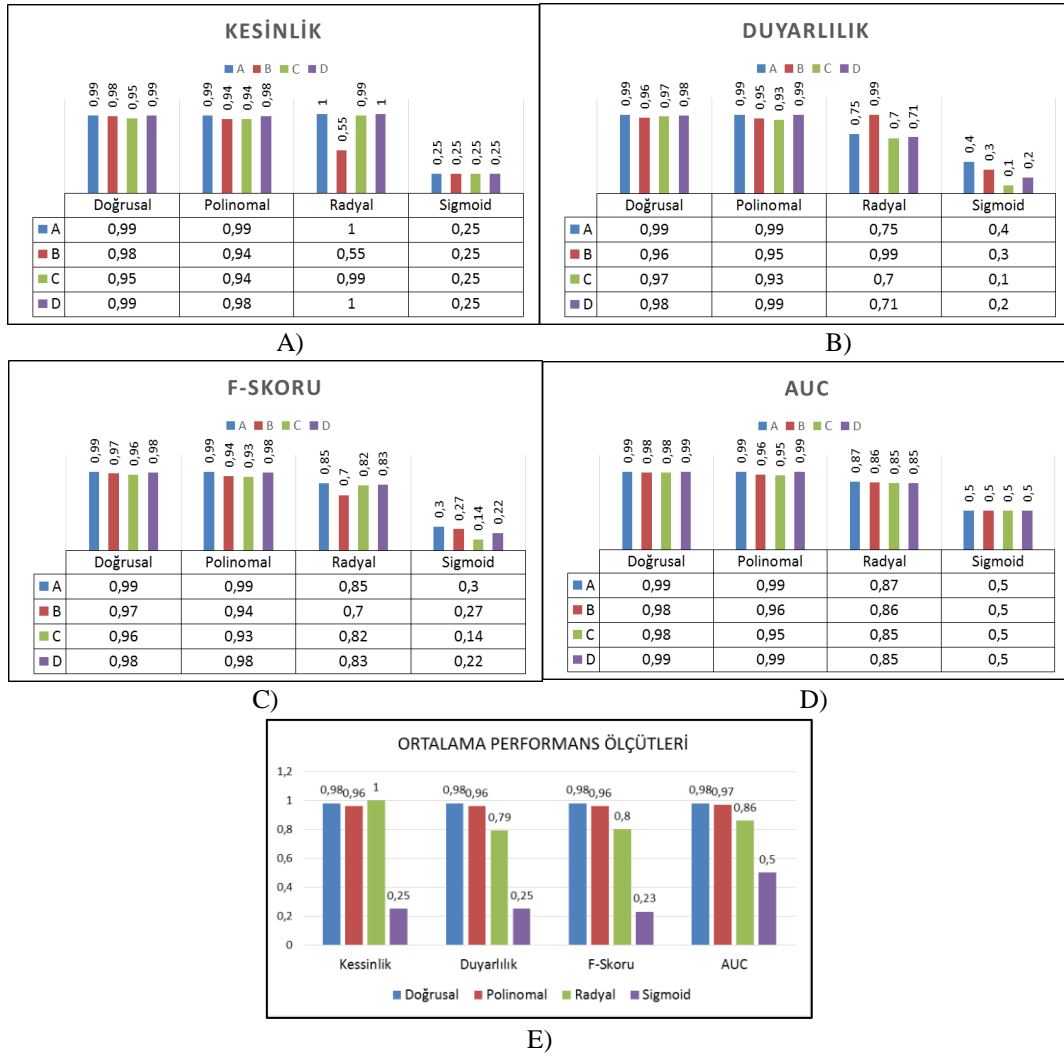


Şekil 5. Çapraz doğrulama öncesi performans metrikleri a)Kesinlik b)Duyarlilik c)F-skoru d)AUC e)Metriklerin ortalama değerleri

Tablo 1. Çapraz doğrulama yapılmadan elde edilen performans metrikleri

Algoritma	Kappa	Doğruluk (%)	Rms
Doğrusal	0,98	98,8	0,07
Polinomal	0,97	98,3	0,09
Radyal	1	100	0
Sigmoid	0	25	0,62

Çapraz doğrulama uygulaması sonrası sınıflandırma performansının incelenmesi için hesaplanan performans metriklerini gösteren grafikler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çapraz doğrulama sonrası performans metrikleri a)Kesinlik b)Duyarlilik c)F-skoru d)AUC e)Metriklerin ortalama değerleri

Doğrusal çekirdek kullanılmasıyla en yüksek metrik değerleri A odası için hesaplanmıştır. A odasının Kesinlik, Duyarlilik, AUC ve F-skoru değerlerinin 0,99 olarak hesaplandığı görülmektedir. Tablo 2’de Doğruluk Kappa ve RMS değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Çapraz doğrulama sonrası elde edilen performans metrikleri

Algoritma	Kappa	Doğruluk (%)	Rms
Doğrusal	0,97	97,9	0,10
Polinomal	0,95	96,6	0,12
Radyal	0,72	79,05	0,32
Sigmoid	0	25	0,61

Çapraz doğrulama öncesi ortalama performans metrik değerlerine bakıldığında Doğrusal ve Polinomal fonksiyon kullanıldığında Kesinlik, Duyarlilik, F-skoru, AUC ve doğruluk değerlerinin 0,98 olduğu görülmüştür. Radyal fonksiyon kullanıldığında tüm metrik değerleri 1 değerini almıştır. En düşük metrik değerleri Sigmoid fonksiyonu kullanıldığında elde edilmiştir. Algoritmaların performans

değerlendirmesinde önemli bir yer tutan ve veri tabanında bulunmayan verinin sınıflandırılma başarısının test edildiği çapraz doğrulama yöntemi uygulandıktan sonra yapılan performans analizinde Radyal fonksiyonun performans metrik değerlerinde bir düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi bu fonksiyonun daha önce karşılaşmadığı veriyi sınıflandırmada başarısız olduğunu göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada kullanımı oldukça yaygınlaşmış, kullanım yaşı anaokulu çocuklarına kadar inmiş olan akıllı telefonlar güvenlik amaçlı kullanılmıştır. Akıllı telefonlar tarafından kayıt edilen kablosuz sinyal gücü kullanılarak anaokulu öğrencilerinin konumları belirlenmiştir. Bunun için sınıflandırma problemlerinde oldukça başarılı olan ve sıklıkla tercih edilen DVM algoritması seçilmiştir. Algoritma kullanılırken farklı çekirdek fonksiyonlarının kullanımı ile sınıflandırma başarısındaki değişkenlik incelenmiştir. Doğrusal fonksiyon kullanımı ile %100 'e yakın bir başarı sağlanırken Sigmoid fonksiyon kullanıldığında kötü sonuçlar verdiği çeşitli performans metrikleri kullanılarak gösterilmiştir. Doğrusal fonksiyon kullanıldığında çapraz doğrulama sonrası yapılan sınıflandırmada Kappa değeri 0,97 doğruluk değeri 97,9'dur. AUC ve F-skoru değeri ise 0,98 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca doğrusal fonksiyon kullanıldığında elde edilen hata değeri diğer fonksiyonlara oranla daha düşüktür. En kötü sınıflandırma ise Sigmoid fonksiyonu kullanıldığında gerçekleşmiştir. Bu fonksiyonun doğruluk oranı %25'tir. Sonuç olarak bina içlerinde, kapalı alanlarda Sinyal gücü ve DVM algoritması kullanıldığında doğrusal fonksiyon seçiminin daha başarılı sonuçlar vereceği anlaşılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

Arlot S., Celisse A. A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys* 2010; 4: 40-79.

Bayıroğlu H., Ayan K. Android üzerinde web tabanlı çocuk takip sistemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2014; 18(2): 87-91.

Bejuri W., Mohamad MM. Wireless LAN/FM radio-based robust mobile indoor positioning: an initial outcome. *Int J Softw Eng Appl* 2014; 8(2): 313-324.

- Caneren G., Doğan AH., Öcalan T. Akıllı mobil telefonlardan elde edilen çift frekanslı ham GNSS gözlemleri ile PPP konum belirleme performansının araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* 2021; 8(2): 120-130.
- Chandra A., Jain S., Qadeer MA. Implementation of location awareness and sharing system based on GPS and GPRS using J2ME, PHP and MYSQL. Paper presented at the 2011 3rd International Conference on Computer Research and Development, 2011, sayfa no: 216-220.
- Chen RC., Huang SL. A new method for indoor location base on radio frequency identification. Paper presented at the WSEAS International Conference. *Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering* 2009; 618-627.
- Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 1960; 20(1): 37-46.
- Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks. *Machine learning* 1995; 20(3): 273-297.
- Frank A. UCI machine learning repository 2010. <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
- Kamath U., De Jong K., Shehu A. Effective automated feature construction and selection for classification of biological sequences. *PloS one*, 2014; 9(7): e99982.
- Karadaş H. Okul öncesi eğitim kurumlarında yaşanan güvenlik ve sağlık problemlerinin paydaş görüşlerine göre incelenmesi. *Anatolian Journal of Health Research* 2021; 2(1): 7-14
- Li X., Nsofor GC., Song L. A comparative analysis of predictive data mining techniques. *International Journal of Rapid Manufacturing* 2009; 1(2): 150-172.
- Liao YC., Jeng JT., Chuang CC., Chen JC. Systematic design for the global positional systems with application in intelligent google android phone. Paper presented at the Proceedings 2011 International Conference on System Science and Engineering 2011, sayfa no: 182-186.
- Orozco-Arias S., Isaza G., Guyot R., Tabares-Soto R. A systematic review of the application of machine learning in the detection and classification of transposable elements. *PeerJ*, 2019; 7, e8311.
- Öztürk B., Tayılga G. Anaokulu iç mekân oyun alanlarına yönelik kavramsal yaklaşımlar: iç mimarlık tasarım stüdyosu deneyimi. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication* 2021; 11(4): 1226-1238.
- Rawal K., Ramaswamy R. Genome-wide analysis of mobile genetic element insertion sites. *Nucleic Acids Research*, 2011; 39(16): 6864-6878.
- Rida ME., Liu F., Jadi Y., Algawhari AA., Askourih A. Indoor location position based on bluetooth signal strength. Paper presented at the 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering.
- Rohra JG., Perumal B., Narayanan SJ., Thakur P., Bhatt RB. User localization in an indoor environment using fuzzy hybrid of particle swarm optimization & gravitational search algorithm with neural networks. Paper presented at the Proceedings of Sixth International Conference on Soft Computing for Problem Solving 2017; 769-773.

- Sabancı K., Yigit E., Ustun D., Toktas A., Aslan MF. Wifi based indoor localization: application and comparison of machine learning algorithms. Paper presented at the 2018 XXIIIrd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), sayfa no: 246-251
- Schietgat L., Vens C., Cerri R., Fischer CN., Costa E., Ramon, J., Blockeel H. A machine learning based framework to identify and classify long terminal repeat retrotransposons. PLoS Computational Biology, 2018; 14(4): e1006097.
- Seco F., Jiménez, AR., Zampella F. Joint estimation of indoor position and orientation from RF signal strength measurements. Paper presented at the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 28-31 th October 2013.
- Shu X., Du Z., Chen R. Research on mobile location service design based on Android. Paper presented at the 2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009.
- Sıvacılar S. Sürdürülebilirlik ilkesinde dayalı okul öncesi eğitim yapısı tasarlanması ve fiziksel etkenlerin iş sağlığı güvenliği açısından incelenmesi. Kırklareli Üniversitesi 2021; 89.
- Yasir M., Ho SW., Vellambi BN. Indoor position tracking using multiple optical receivers. Journal of Lightwave Technology, 2015; 34(4): 1166-1176.
- Yıldız S., Bektaş F. İlkokul öğrencilerinin okul yolunda karşılaşılabileceği risklerin belirlenmesi; Fındıklı örneği. Artvin Çoruh Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi 2021; 7(2): 82-104.

An Evaluation of Autoencoder Neural Network Role in IoT Edge Computing

Aygül TEKİN KAKIZ¹, Muhammed Talha KAKIZ^{2*}, Ramazan ÇOBAN³

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Rektörlük, Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi, 80000, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-7372-0664>

²<https://orcid.org/0000-0003-4928-6559>

³<https://orcid.org/0000-0002-4505-0437>

*Corresponding author: mtalhakakiz@osmaniye.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.12.2021

Accepted: 18.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Internet of things

Edge computing

Cloud computing

Autoencoder

Artificial neural networks

With rapid increase in numbers of connected Internet of Things (IoT) devices, huge amount of data is generated and sent to Cloud Computing nodes to be stored and analysed. Cloud computing is an effective paradigm for storage and data analysis since IoT devices are restricted machines in terms of energy, computation power and storage. Despite the advantages of cloud computing, it causes network congestion and latency due to generally located at long distances. Besides, security and privacy issues are also drawbacks of the cloud. Edge Computing is a promising system to eliminate the flaws of cloud computing by getting computational power closer to data sources. Edge Computing has more computation power than IoT but lower than cloud computing. Although the deficiencies of cloud computing decrease with edge computing, they are not completely eliminated because computation intensive tasks still should be sent from edge to cloud resources. Since Autoencoder is an unsupervised neural network technique that learns to efficiently encode/compress input data and learns to efficiently decode it as closer to the original input, it is an ideal candidate for reducing data traffic and latency in edge computing and cloud computing. The main purpose of this paper is to investigate the studies using AE in edge computing and their performance implications with respect to network traffic, security, and delay. The performance results of the proposals that have used autoencoder between edge and cloud layer are evaluated in terms of eliminating big data, network traffic and accuracy.

Nesnelerin İnterneti Uç Bilişimde Otokodlayıcı Sinir Ağının Rolüne İlişkin Bir Değerlendirme

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.12.2021

Kabul tarihi: 18.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Nesnelerin interneti

Uç bilişim

Bulut bilişim

Otokodlayıcı

Yapay sinir ağları

ÖZ

İnternete bağlı IoT cihazların sayısındaki hızlı artış ile çok büyük miktarda üretilen veri depolanmak ve analiz edilmek üzere Bulut Bilişim düğümlerine gönderilir. IoT cihazlar enerji, hesaplama gücü ve depolama açısından kısıtlı makineler olduğundan, Bulut Bilişim depolama ve veri analizi için etkili bir paradigmadır. Bulut Bilişimin avantajlarına rağmen, genellikle uzun mesafelerde konumlandığı için trafik sıkışıklığı ve gecikmelere neden olur. Bunun yanında, güvenlik ve gizlilik meseleleri de Bulut Bilişimin dezavantajlarındandır. Uç bilişim hesaplama gücünü veri kaynağına yaklaştırarak Bulut Bilişimin kusurlarını bertaraf edecek umut verici bir sistemdir. Uç Bilişim, IoT cihazdan daha fazla; Bulut Bilişimden ise daha az hesaplama gücüne sahip. Uç Bilişim ile birlikte Bulut Bilişimin olumsuzluklarının azalmasına rağmen, tamamen ortadan kalkmaz. Çünkü, yoğun hesaplamalı görevlerin hala uçtan bulut kaynaklarına gönderilmesi gerekir. Otokodlayıcı, girdi verisini etkili bir şekilde kodlayan/sıkıştırılan ve orijinal girdi verisine daha yakın olacak şekilde kodu çözmeyi öğrenen

denetimsiz sinir ağı tekniğidir. Uç bilişim ve Bulut Bilişimdeki veri trafiği ve gecikmeyi azaltmak için ideal bir adaydır. Bu çalışmanın amacı, ağ trafiği, güvenlik ve gecikme açısından Otokodlayıcı yönteminin uç bilişimde kullanılan çalışmaları ve performans etkilerini araştırmaktır. Uç ve bulut katman arasında Otokodlayıcı kullanan çalışmaların performans sonuçları büyük veri, ağ trafiği ve doğruluk açısından değerlendirilmiştir.

To Cite: Kakız AT., Kakız MT., Çoban R. An Evaluation of Autoencoder Neural Network Role in IoT Edge Computing. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1383-1392.

1. Introduction

Internet of Things (IoT) envisions to enable physical objects of everyday life to be able to see, hear, think, and talk by sensing, analyzing, and communicating with their environments (Al-Fuqaha et al., 2015). These objects can see and hear by means of sensors integrated (i.e., camera, temperature, gyroscope), can think and analyze the sensed data with a processing unit and finally can talk and interact with other objects with a communication interface. Since the objects can communicate with each other in the IoT concept, an unprecedented amount of data is generated by a wide variety of devices such as home appliances, vehicles, surveillance cameras, transportation, and manufacturing systems (Zanella et al., 2014).

The data collected from the real-world environment should be analyzed to extract useful information about the objects and their situations. With the relevant extracted information, possible future events can be predicted, or right decisions can be made about what the devices should perform if necessary. Thus, IoT turns into a paradigm that improves the quality of our daily life (Ge et al., 2018). However, processing large volumes of sensor data on IoT is relatively challenging because of restricted computational power and energy constraints of IoT devices as in Wireless Sensor Networks (WSN) (Akyildiz and Vuran, 2010). Therefore, Cloud Computing services have been proposed for data processing and analysis.

The main objective of this paper is to evaluate Autoencoder (AE) Neural Network role in IoT Edge Computing. To achieve this aim, we focus on the studies developed to be executed on edge devices and using AE between IoT and edge nodes or between edge and cloud nodes.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 explains CC and Edge Computing paradigms and why they are needed. Section 3 gives background information of autoencoder neural network. Section 4 evaluates autoencoder roles in EC with comparative examples. Finally, Section 5 concludes the paper and gives future research directions.

2. Material and Method

Cloud and Edge Computing

Cloud Computing (CC) is a promising way to perform computationally intensive IoT tasks because CC systems have more computational power and storage capacity (Shi and Dustdar, 2016). IoT devices collect data and send their data to distributed powerful CC nodes to be analyzed and stored, and then the IoT nodes or another device may be notified of predictions and decisions for optimization. For example, surveillance camera systems capture image data at the edge but cannot

process it for face recognition because image processing requires more computational power. However, they can send captured image data to CC machines thousands of miles away to be analyzed for face recognition; then, after data analysis, CC nodes share the information of who the detected face belongs to with relevant devices.

While CC has many benefits that meet the computational inadequacy of IoT, it also has several shortcomings: i) Long physical distances between CC nodes and IoT devices can cause major delays, which is not acceptable for delay sensitive applications (e.g., autonomous driving, highly interactive application) (Wang et al., 2020); ii) Sending large amount of data generated by IoT devices to the remote data centers will not work because 500 billion devices, according to Cisco, going to connect to the internet in 2030 (Cisco, 2016; Pan and McElhannon, 2017); iii) Very large volume of data transmission increases the pressure, density and traffic in the backbone network (Wang et al., 2020); iv) Sending data to CC also carries risks in terms of security and privacy (Shi and Dustdar, 2016).

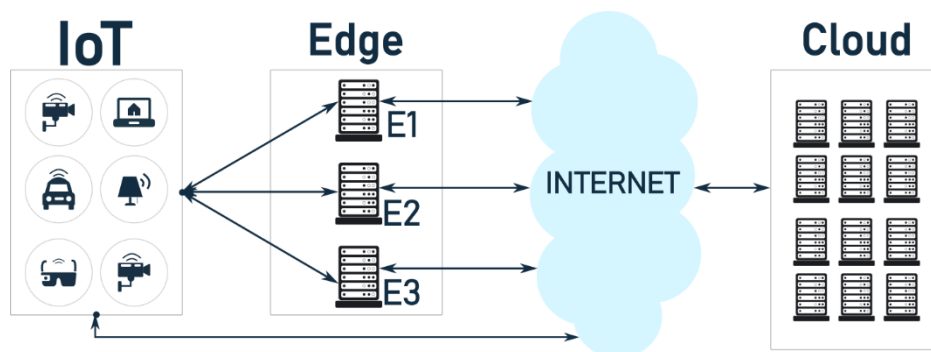


Figure 1. CC and EC system model architecture

To address aforementioned deficiencies and challenges of CC, Edge Computing (EC) has been proposed (Satyanarayanan et al., 2009). The main idea of EC is to bring computational resources closer to the edge IoT devices, which provides better services especially for delay-sensitive applications (Khan et al., 2019). Instead of sending generated data to central cloud devices which are far away from the edge of the network, IoT nodes can send data to nearby edge devices for data analysis. The data received from IoT devices is sent to the edge node, and after certain tasks are completed, the reduced data is sent to the cloud for integration. Edge servers connect via a private network or the Internet and are located at the edge of the network. They can be used for storage, data compression-decompression and computation as well as providing multimedia content (Ghosh and Grolinger, 2019). As a result, EC is a key enabler to tackle the problems of CC (i.e., latency, computational density of cloud devices and network congestion). The comparison between CC and ED is represented in Table 1 with different parameters.

EC reduces latency and traffic, improves user experience, and reduces dependency on the cloud. Therefore, industry and academia place emphasis on EC (Mach and Becvar, 2017; Ghosh and Grolinger, 2019). Edge servers are like a bridge between cloud and IoT devices. Note that it does not

mean that all data generated must be sent to the EC nodes. When needed, IoT nodes can directly send the data to the CC devices, or it is sent from EC to CC because EC machines have more computational power and storage capacity than IoT devices but less than CC machines. Therefore, computation intensive tasks cannot be handled by EC nodes, and they can be directly sent to CC, as represented in Figure 1.

Considering that EC devices may have difficulty in accomplishing Machine Learning (ML) tasks that require high computing power, there is a need for a system where EC and CC systems collaboratively work for data analysis. The mentioned system should aim to send the least amount of data to the cloud (e.g., integration and control data) in order to reduce latency and network congestion. Autoencoder (AE), an artificial neural network mostly used in ML and DL, is an effective way to achieve this goal.

Table 1. CC and EC comparison (Ullah et al., 2018)

Parameters	CC	EC
Delay	High	Low
Security and Privacy	Low	High
Computing Power	High	Limited
Access	Internet	Edge Network
Distance	Far	Close
Noticing the Location	No	Yes
Topology	Centralized	Distributed
Mobility Support	No	Yes

Autoencoder Neural Network

AE, a neural network that learns to encode data in an unsupervised manner (Ghosh and Grolinger, 2021), is a ML architecture in which the number of nodes at the input layer is equal to the number of output nodes, as shown in Figure 2, and the number of nodes in hidden layers is less than inputs and outputs. When the hidden nodes are less than inputs, the model is trained to learn the best coding of the inputs with hidden units for dimensionality reduction (Alpaydin, 2020). It is not only used for dimensionality reduction but also for many other reasons that will be explained in Section 4.

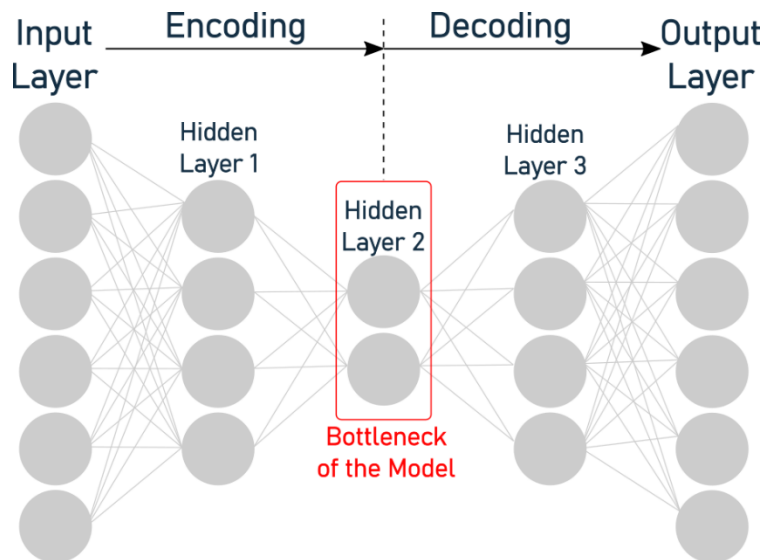


Figure 2. Autoencoder neural network

An AE consists of two parts, an encoder and a decoder and each of these parts may consist of one or more hidden layers. Since the encoder part of AE is responsible for reducing the data size, the number of neurons decreases from the input layer to the bottleneck of the model, as represented in Figure 3. On the other hand, the decoder side reconstructs the input values from the encoded data. Therefore, the decoder part consists of layers with an increasing number of neurons from the bottleneck of the model to the output layer. AE can be used for noise removal and anomaly detection, but it often serves as a preprocessing step for another ML task. This preprocess can be a dimensional reduction of input data (Ghosh and Grolinger, 2021).

Encoding data and then trying to reconstruct it may seem meaningless, but it is used for many different aims in a variety of applications. For example, in terms of compressing data, other data compression algorithms may perform more efficient than AE, but they cannot learn anything from the compressed data. However, AE tries to learn and prioritize some aspects of the input that resembles training data (Goodfellow et al., 2016).

3. Results and Discussion

Even though there exist different types of AEs which are used for different purposes, there are three main use cases of AE in EC, which are anomaly detection, noise removal, dimensionality reduction/data compression. In these use cases, encoder and decoder parts of AE can be located in distinct nodes such as EC, CC and IoT. It only depends on the aim of the use case. A histogram of the type of proposals in IEEE Xplore is shown in Figure 3. Let us take a deeper look at the use cases.

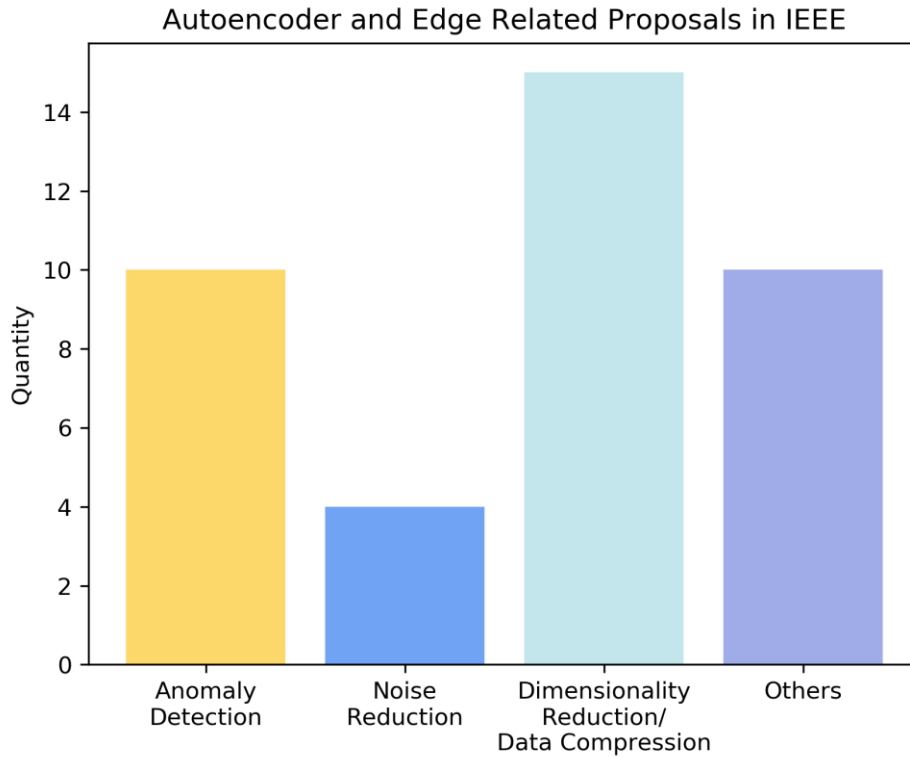


Figure 3. The histogram of edge and autoencoder related proposals in IEEE xplora

Anomaly Detection

The most common use case of AE in EC is detecting anomaly of input data. Since IoT devices are restricted nodes in terms of memory and computation, they cannot execute complex security algorithms and they are vulnerable to malware attacks. The input data sent from IoTs to EC or CC may include anomalies caused by the malicious software. Therefore, detecting any anomaly is an essential task with regards to accuracy of data analysis. There are many studies in the literature that are proposed for anomaly detection in EC, and they use different types of AEs to detect anomalies.

Tzagkarakis et al. have proposed a botnet attack detection method on EC node (Tzagkarakis et al., 2019), which is a sparsity representation framework detecting error rate between original input and reconstructed data. If the error rate of a sample is greater than a threshold value, it is extracted as an abnormal data. A similar approach is proposed by (Li et al., 2021) in which anomaly detectors are constructed by using LSTM (Long Short-Term Memory) AE. Original and reconstructed sequences are compared, and if the error is more than a threshold, then it is abnormal. Otherwise, it is considered as a normal data. Besides, detecting anomalies in cellular networks is another proposal in which ADM-Edge integrated into an NB-IoT (Narrowband IoT) tries to detect anomalies over a single data point (Savic et al., 2021). If a larger amount of time series is generated, it is sent to more computationally powerful Fog devices for anomaly detection.

Kim et al. proposed anomaly detection for industrial IoT (IIoT) by using AE model named Squeezed Convolutional Variational Autoencoder (Kim et al., 2018). The proposed method has been embedded in IIoT devices. Also, Park et al. embedded their proposed anomaly detection model in IoT devices to

identify electric motor failures. In this method, two AE structures have been used to obtain the best method (Park et al., 2021). Another anomaly detection method has been proposed to detect anomalies for Bridge Health Monitoring (Moallemi et al., 2022) with benchmarking Fully Connected AE and Convolutional AE. They also embedded the proposed method in IoT devices. Unlike previous studies, the proposal of anomaly detection in smart farming ecosystem (Adkisson et al., 2021) has not clearly indicated in which layer the method has been embedded. They have used unsupervised AE model.

Removing Noise

One of the most common uses of AEs is to remove noise from data. Thus, the data is transformed into a more suitable form for learning with ML models. This application usually takes place in the EC and the resulting representative compressed data is sent to the cloud for analysis. Since AEs represent data with smaller nodes by learning only useful information, noise is eliminated from the data by ignoring it. The type of AE that is mostly used for noise removal is Denoising AE.

A smart parking with user activity has been proposed by Kim et al. (Kim et al., 2021) that tries to eliminate noise from data generated by smartphone sensors. The data used in the study is sensed in the car, out of the car but it has also noise. They use Denoising AE for noise removal in smartphone and the reconstructed data from which the noise is removed is sent to EC for parking location and user activity analysis. Also, a similar approach has been adopted in (Feng et al., 2021) for noise removal from space launch system data. Embedded edge nodes in a rocket tries to remove noise to make space launch mission more reliable and secure. Besides, Auto-Key trains denoising AE to remove noise and obtain the repaired signal from the initial noisy one. Therefore, it accelerates the key generation based on gait in body area networks (Wu et al., 2020).

Unlike previous methods, PrivStream method injects noise to make data stream away from adversary attacks and uses an AE to realize data minimization (Wang et al., 2019). The proposed method is distributed on IoT and Edge devices.

Dimensionality Reduction/Data Compression

Considering the traffic density in the network, dimensionality reduction/data compression is one of the most important uses of AE in EC devices. The purpose of this use is to send the bottleneck, where the data is represented by fewer nodes, instead of sending all of the generated data to the network. Thus, the data traffic in the network will be reduced. The performance of the studies developed for this use case depends on the ability to learn from the compressed data and reach an accuracy close to that obtained with the original data.

To reduce network traffic, Ghosh et al. have developed an architecture by combining EC and CC (Ghosh and Grolinger, 2020). The encoder part of AE is located on EC and the decoder part is placed on CC. When sensor data is received from IoT devices, EC encodes the data and sends it to CC for data analysis. By this way, %80 data is reduced without significant loss in accuracy. Another method of dimensionality reduction with AE in EC has been proposed for online resource scheduling system

(Jiang et al., 2020). Stacked AE is used for compression and representation of high dimensional channel quality information in large scale mobile EC networks.

Trilla et al. proposed to compress vibration monitoring data up to 10 times without affecting the performance of the process (Trilla et. al., 2020). They use AE to realize this improving with three configurations: denoising, sparse and contractive. Besides, Lv et al. also compare the performance of stacked noise, stacked, stacked contractive, stacked sparse and deep belief AEs in terms of dimension reduction (Lv et al., 2021). They perform the comparison with respect to accuracy rate, false negative rate and false positive rate.

Preprocessing for another ML Task

AE can also be used as a preprocessing step before entering another ML model (L'heureux et al., 2017). This step can occur in two different ways; i) the bottleneck nodes of AE can be directly used by the ML model in EC or CC, ii) the compressed representation of data is reconstructed and then it is used as an input data of another ML model in EC or CC. Apart from these use cases, AE can also be used as a classification tool (AbdulsalamYa'u et al., 2019).

4. Conclusions

Autoencoder neural network model is used for many different applications with a variety of purposes. In this paper, we have briefly explained what autoencoder, edge computing and cloud computing are and why we need of autoencoder in edge and cloud. Also, we evaluated the role of autoencoder neural network model in IoT Edge Computing by giving the most common uses cases. In future studies, coding and decoding methods can be developed in studies using AE, and it can be tried to reach the ideal point of minimum energy and maximum accuracy.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest between them.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

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

References

AbdulsalamYa'u G., Job GK., Waziri SM., Jaafar B. Sabon Gari NA., Yakubu IZ. Deep learning for detecting ransomware in edge computing devices based on autoencoder classifier. 2019 4th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICEECCOT), 13-14 December 2019, page no: 240–243, Mysuru, India.

- Adkisson M., Kimmell J.C., Gupta M., Abdelsalam M. Autoencoder-based anomaly detection in smart farming ecosystem. 2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 15-18 December 2021, page no: 3390-3399, Orlando, FL, USA.
- Akyildiz I.F., Vuran M.C. Wireless sensor networks. 1st ed. UK: John Wiley & Sons; 2010.
- Alpaydm E. Introduction to machine learning. 3rd ed. London: MIT Press; 2014.
- Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M. Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials 2015; 17(4): 2347–2376.
- Challenges in real-world edge computing architecture, <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-edge-computing-architecture.html>. Cisco, Accessed: 2021-08-15.
- Feng Y., Liu Z., Chen J., Lv H., Wang J., Yuan J. Make the rocket intelligent at iot edge: stepwise gan for anomaly detection of IRE with multi-source fusion. IEEE Internet of Things Journal 2021; 9(4): 3135-3149.
- Ge M., Bangui H., Buhnova B. Big data for internet of things: a survey. Future Generation Computer Systems 2018; 87: 601–614.
- Ghosh A.M., Grolinger K. Deep learning: edge cloud data analytics for iot. 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), 5-8 May 2019, page no: 1-7, Canada.
- Ghosh A.M., Grolinger K. Edge-cloud computing for internet of things data analytics: embedding intelligence in the edge with deep learning. IEEE Transactions on Industrial Informatics 2020; 17(3): 2191–2200.
- Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning. 1st ed. UK: MIT press; 2016.
- Jiang F., Wang K., Dong L., Pan C., Yang K. Stacked autoencoder-based deep reinforcement learning for online resource scheduling in large-scale MEC networks. IEEE Internet of Things Journal 2020; 7(10): 9278–9290.
- Khan W.Z., Ahmed E., Hakak S., Yaqoob I., Ahmed A. Edge computing: a survey, Future Generation Computer Systems 2019; 97: 219–235.
- Kim D., Yang H., Chung M., Cho S., Kim H., Kim M., Kim K., Kim E. Squeezed convolutional variational autoencoder for unsupervised anomaly detection in edge device industrial internet of things. 2018 IEEE International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT), 23-25 March 2018, page no: 67-71, DeKalb, IL, USA.
- Kim S., Park S., Lee S.H., Yang T. Smart parking with learning aided user activity sensing based on edge computing. 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 9-12 January 2021, page no: 1–2, Virtual Conference.
- Li R., Li Q., Zhou J., Jiang Y. Adriot: An edge-assisted anomaly detection framework against iot-based network attacks. IEEE Internet of Things Journal 2021; 9(13): 10576-10587.

- Lv Z., Qiao L., Li J., Song H. Deep-learning-enabled security issues in the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal* 2021; 8(12): 9531-9538.
- L'heureux A., Grolinger K., Elyamany HF., Capretz MA. Machine learning with big data: challenges and approaches. *IEEE Access* 2017; 5: 7776-7797.
- Mach P., Becvar Z. Mobile edge computing: a survey on architecture and computation offloading. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 2017; 19(3): 1628-1656.
- Moallemi A., Burrello A., Brunelli D., Benini L. Exploring scalable, distributed real-time anomaly detection for bridge health monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*; 9(18): 17660-17674.
- Pan J., McElhannon J. Future edge cloud and edge computing for internet of things applications. *IEEE Internet of Things Journal* 2017; 5(1): 439-449.
- Park Y., Kim M. Design of cost-effective auto-encoder for electric motor anomaly detection in resource constrained edge device. 2021 IEEE 3rd Eurasia Conference on IoT, Communication and Engineering (ECICE), 29-31 October 2021, page no: 241-246, Yunlin, Taiwan.
- Satyanarayanan M., Bahl P., Caceres R., Davies N. The case for vm-based cloudlets in mobile computing. *IEEE Pervasive Computing* 2009; 8(4): 14-23.
- Savic M., Lukic M., Danilovic D., Bodroski Z., Bajović D., Mezei I., Vukobratovic D., Skrbic S., Jakovetić D. Deep learning anomaly detection for cellular iot with applications in smart logistics. *IEEE Access* 2021; 9: 59406-59419.
- Shi W., Dustdar S. The promise of edge computing. *Computer* 2016; 49(5): 78-81.
- Trilla A., Miralles D., Fernández V. Pushing distributed vibration analysis to the edge with a low-resolution companding autoencoder: industrial iot for phm. In Annual Conference of the PHM Society, 9-13 November 2020, page no: 1-9, Virtual Conference.
- Tzagkarakis C., Petroulakis N., Ioannidis S. Botnet attack detection at the iot edge based on sparse representation. 2019 Global IoT Summit (GIoTS), 17-21 June 2019, page no: 1-6, Denmark.
- Ullah R., Ahmed SH., Kim BS. Information-centric networking with edge computing for iot: research challenges and future directions. *IEEE Access* 2018; 6: 73465-73488.
- Wang D., Ren J., Xu C., Liu J., Wang Z., Zhang Y., Shen X. PrivStream: enabling privacy-preserving inferences on iot data stream at the edge. *IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications*, 10-12 August 2019, page no: 1290-1297, Zhangjiajie, China.
- Wang F., Zhang M., Wang X., Ma X., Liu J. Deep learning for edge computing applications: a state-of-the-art survey. *IEEE Access* 2020; 8: 58322-58336.
- Wu Y., Lin Q., Jia H., Hassan M., Hu W. Auto-Key: using autoencoder to speed up gait-based key generation in body area networks. *Proceedings of the ACM on Interactive Mobile Wearable and Ubiquitous Technologies* 2020; 4(1): 1-23.
- Zanella A., Bui N., Castellani A., Vangelista L., Zorzi M. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal* 2014; 1(1): 22-32.



Çukurova ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Satışa Sunulan Kırmızı Pul Biber ve Kuru İncirler'de Aflatoksin B₁ ve Toplam Aflatoksin (B₁,B₂,G₁,G₂) İçeriğinin Yüksek Performans Sıvı Kromatografi Yöntemi ile Belirlenmesi

Fatma HEPSAĞ^{1*}, İbrahim HAYOĞLU²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadırlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Programı, 80760 Osmaniye

²Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 63040 Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0002-3688-4106>

²<https://orcid.org/0000-0002-6358-8302>

*Sorumlu yazar: fatmahepsag@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.12.2021

Kabul tarihi: 18.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kuru incir

Kırmızı pul biber

AFB₁

AFB₂

AFG₁

AFG₂

Toplam AF

ÖZ

Aflatoksinler; küller tarafından üretilen ve diğer organizmalara zararlar verebilen toksik karakterli ikincil metabolitlerdir. Bu çalışmada, Adana İli'nden 8'er adet, kırmızı pul biber ve kuru incir, Mersin İli'nden 9'ar adet ve Osmaniye İli'nden 8'er adet örnekler, küçük ölçekli çiftçilerden, perakende mağazalardan ve süpermarketlerden temin edilmiştir. Kırmızı pul biber ve kuru incir örneklerinin aflatoksin B₁ (AFB₁), aflatoksin B₂ (AFB₂), aflatoksin G₁ (AFG₁), aflatoksin G₂ (AFG₂) ve toplam aflatoksin (AF) içerikleri incelenmiştir. AF miktarlarını ölçmek için floresans dedektörlü (HPLC-FLD) HPLC kullanılmıştır. Belirlenebilir en düşük tespit limiti (LOD) 0,1 ile 0,42 µg kg⁻¹, tayin limiti (LOQ) ise 0,11 ile 0,45 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Yirmi beş adet kuru incir örneğinin %44'ünde (11 adet) toplam AF tespit edilmiştir. AF'lerin konsantrasyonları 0,10 ile 0,19 µg kg⁻¹ arasında saptanmıştır. AFB₁ incir örneklerinin %36'sında (9 adet), AFG₁ %24'ünde (6 adet) tespit edilmiştir. Kırmızı pul biber örneklerinin %28'inin (7 adet) AFB₁ açısından standartlara uymadığı tespit edilmiştir. Biber örneklerin %16'sında (4 adet) toplam AF tespit edilmiştir. Aflatoksin tespit edilen örneklerin değerleri "Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ (2011/28157)" ile belirlenmiş olan yasal değerlerin üzerindedir.

Determination of Aflatoxin B₁ and Total Aflatoxin (B₁,B₂,G₁,G₂) Content in Red Peppers and Dried Figs Sold in Çukurova and the Eastern Mediterranean Region by High Performance Liquid Chromatography Method

Research Article

Article History:

Received: 29.12.2021

Accepted: 18.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Dried fig

Red chili pepper

AFB₁

AFB₂

AFG₁

AFG₂

Total AF

ABSTRACT

Aflatoxins are toxic secondary metabolites produced by molds that can harm other organisms. In this research, 8 samples each from Adana, red chili peppers and dried figs, 9 each from Mersin and 8 samples from Osmaniye were obtained from small-scale farmers, retail stores and supermarkets. Aflatoxin B₁ (AFB₁), aflatoxin B₂ (AFB₂), aflatoxin G₁ (AFG₁), aflatoxin G₂ (AFG₂) and total aflatoxin (AF) contents of red chili pepper and dried fig samples were investigated. HPLC with fluorescence detector (HPLC-FLD) was used to measure AF amounts. The lowest detectable limit of detection (LOD) ranged from 0.1 to 0.42 µg kg⁻¹, and the limit of detection (LOQ) ranged from 0.11 to 0.45 µg kg⁻¹. Total AF was detected in 44% (11 samples) of 25 dried fig samples. Concentrations of AFs ranged from 0.10 to 0.19 µg kg⁻¹. AFB₁ was detected in 36% (9 specimens) and AFG₁ in 24% (6 specimens). It was determined that 28% (7 pieces) of red chili pepper samples did not comply with the standards in terms of AFB₁. Total AF was detected in 16% (4 pieces) of pepper samples. The values of the samples in which aflatoxin was detected are above the legal values determined by the "Communiqué on Maximum Limits of Contaminants in Foodstuffs

To Cite: Hepsağ F., Hayoğlu İ. Çukurova ve Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Satışa Sunulan Kırmızı Pul Biber ve Kuru İncirler'de Aflatoksin B₁ ve Toplam Aflatoksin (B₁,B₂,G₁,G₂) İçeriğinin Yüksek Performans Sıvı Kromatografi Yöntemi ile Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1393-1406.

1. Giriş

Kurutulmuş ürünler ile ilgili önemli sorunlardan biri küf kontaminasyonudur. Küf kontaminasyonu; insan sağlığı, gıda güvenliği ve ekonomik açıdan önem teşkil eder. Kurutulmuş meyveler ve baharatlar yetiştirilme durumları, işleme özellikleri ve depolama süreçlerindeki hassasiyet açısından küf gelişimine ve toksin oluşumuna açık ve aynı zamanda uygun ürünlerdir (Peter ve Cotty, 2017). Meyvelerin kurutulması muhafaza edilmesi kronolojik olarak eski çağlardan beri kullanılan önemli ve güncelliğini kaybetmeyen gıda saklama yöntemlerinden biri olmakla birlikte yetersiz kurutma ve uygun olmayan depolama koşulları, kurutulmuş meyvelerde küf gelişimine ve aflatoksin oluşumuna neden olabilmektedir.

Kırmızı biber, *Solanaceae* familyasına ait olan *Capsicum annuum L.* türüne dahil bir sebzedir. Kırmızı pul biber ülkemizin; Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa ve Hatay bölgelerinde yoğun olarak üretilen, ekonomik potansiyeli yüksek, önemli ihraç ürünlerimiz arasındadır. Modern yöntemlerle ve bazen de geleneksel yöntemlerle hijyenik olmayan koşullarda ve kontrolsüz şekilde kurutulup öğütülmesiyle elde edilen kırmızı pul biber tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de baharat olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fiziksel özelliği bakımından son ürünün rengi, mikrobiyal özelliği bakımından da aflatoksin içeriği kurutulmuş kırmızı pul biber açısından iki önemli parametredir (Duman ve ark., 2003). Kuru incir ise *Ficus carica domestica L.* türüne giren ağaçların olgun meyvelerinin hasat edildikten sonra mekanik yada açık havada güneş altında kurutulmasıyla elde edilir. İncir ülkemizin Akdeniz kıyı bölgelerinde, İç Anadolu'da yetişen ekonomik potansiyele sahip önemli ihraç ürünlerimizdendir (Akova, 2009). İncir yüksek oranda şeker içeriği, hasat ve hasat sonrası koşullar nedeniyle küf ve mikotoksin oluşumunun görülebildiği bir üründür (Karbancıoğlu ve Heperkan, 2008). Toksik küf kontaminasyonu kırmızı pul biberde tarlada, incir içinde kurutma esnasında başlar ve sonraki aşamalarda devam eder. Geleneksel olarak güneşte kurutma, kurutma işleminin yavaşlığı, iklim koşullarına bağlı olarak, küflerin gelişimi, toksin üretimi, besin kayıplarının artması ve çoğalması nedeniyle meyve bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyebilir. Nitekim incir ve kırmızı pul biber, bu tür ürünlerde ekonomik, sağlık ve güvenlik açısından en önemli risk olan toksijenik küfler ve bu küflerin mikotoksinleri açısından yüksek riskli ürünler olarak kabul edilmektedir (Babalıs ve Belessiotis, 2004). Genellikle küfler 25°C'de %80 bağıl nemde iyi gelişirler (Cemeroğlu ve Özkan, 2004). Aflatoksinler, *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* cinsi küfler tarafından oluşturulan bir grup bileşikler olup iki gruba ayrılırlar. Difurokumarosiklopentanon serisi AFB₁, AFB₂, AFB_{2A}, AFM₁, AFM₂, AFM_{2A} ve aflatoksikoldür. Diğer grup difurokumarolakton serisi AFG₁, AFG₂, AFG_{2A}, AFGM₁, AFGM₂, AFGM_{2A} ve AFB₃'dür. Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂ ve M₁ doğal

floresan verirler. Aflatoksin B₁ ve B₂ 365nm dalga boyunda UV altında mavi floresan G₁ ve G₂ yeşil floresan verirler (Artık, 2007; İnan ve ark., 2007; Sabuncuoğlu ve ark., 2008). Günümüzde gıda güvenliği kavramı büyük önem taşımakla birlikte gıdalardaki toksik maddelerde, gerekli kriterlere dikkat edilmediğinde tarladan sofraya gıda güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Toksinler, enfeksiyon ve zehirlenmeye (intoksikasyon) neden olduğu için sağlık açısından büyük önem taşımaktadır (Blesa ve ark., 2004). Yapılan çeşitli çalışmalar aflatoksinin karsinojenik, genotoksik, teratojenik, bağışıklık sistemini baskılayıcı ve nefrotoksik özellikte olduğunu göstermektedir (Magan ve Olsen, 2004). İncelenen çalışmalar, meyvelerin kurutulması sırasında başta hammadde seçimine ve kurutma işlemine gereken özenin gösterilmesinin önemini ortaya çıkarmıştır. Bu sayede sağlık üzerine olumsuz etkileri olan toksinlerin varlığının önüne geçilebileceği düşünülmektedir (Council for Agricultural Science and Technology Mycotoxins, 2003).

Bu çalışma ile amacımız; Akdeniz bölgesinde satışa sunulan kuru incir ve kırmızı pul biberlerin aflatoksin içeriklerini belirlemek, standartlar ile karşılaştırmak ve gıda güvenliği açısından değerlendirmektir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan kuru incir; 2018 tarihinde üretilmiş ürünler olup Aydın, Manisa ve İzmir'den ve kırmızı pul biber örnekleri ise Şanlıurfa, Kahramanmaraş ve Adıyaman'da 2018 tarihinde üretilmiş ürünler olup, 2019 Mart ayında Adana İli'nden 8'er adet, Mersin İli'nden 9'ar adet ve Osmaniye İli'nden 8'er adet şeklinde temin edilmiştir. Perakende mağazalardan ve süpermarketlerden 100 g ve 250 gr olan kapalı ambalajlardan 1kg olacak şekilde satın alınmıştır. Analizler iki ay kadar sürmüş olup örnekler analiz sürecine kadar 4°C'de depolanmıştır.

2.1. Aflatoksin Analizi

Tüm örneklerde aflatoksin analizi, AOAC'nin 999.07 nolu metoduna göre Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) kullanılarak yapılmıştır (AOAC, 2000). Yöntem, analiz numunesinin, metanol/su solvent karışımıyla ekstraksiyonu, Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂'ye spesifik monoklonal antikorlar içeren immuno affinite kolonla temizleme, kolon sonrası elektrokimyasal brom türevlendirme ve floresan dedektörlü ters faz likit kromatografi ile Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂'nin tayin edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Metodun uygulanması; nNumunenin hazırlanması, ekstraksiyon, ekstrakt seyreltme, kolon kromatografisi, HPLC'ye enjeksiyon, sonucun değerlendirilmesi ve hesaplanması aşamalarından oluşmuştur.

2.2. Analiz için gerekli alet-ekipman ve aksesuarlar

Ekstraksiyon için 1 L'lik paslanmaz çelik bir kap içeren bir Waring blendır (Waring Products Co., Torrington, Connecticut, ABD), vorteks (girdap karıştırma yapabilen) (DRAGONLAB), ısıtmalı manyetik karıştırıcı (100-1000 rpm devir aralığı, 0-110 °C ısıtma aralığı olan) (DRAGONLAB),

vakum pompası ve manifoldu (SCHMALZ, EVE-TR X), maksimum basınç 4 bar, vakum 230, derin dondurucu (-23) – (-10) °C arasında çalışan, HPLC cihazı (Agilent 1100), floresan dedektör, termostatlı kolon fırını, otomatik örnekleyici, izokritik pompa, vacuum degasser, HPLC kolonu (C-18) aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂'yi diğer bütün piklerden ve birbirinden ayırabilen, kobracell ve bağlantı hortumları, elektrokimyasal olarak oluşturulan bromla türevlendirme sistemi, akım kaynağı (kobracell'e akım vererek türevlendirme yapılmasını sağlayan, maksimum 100µA), cam microfiber filtre kağıdı, AflaTest® immünoafinite kolonları (IAC'ler, ürün kodu: 12022) Vicam®'dan (Watertown, MA, ABD) kullanılmıştır.

2.3. Kullanılan Kimyasallar ve Hazırlanışı

Çözücüler olarak Metil alkol (MeOH), asetonitril (ACN) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, ABD)) HPLC saflığında, potasyum bromür (KBr, Merck Darmstadt, Almanya) analitik saflıkta kullanılmıştır. 4 Molar HNO₃ çözeltisi hazırlanmıştır, hazır olarak alınan 6 ml'lik 1 µg ml⁻¹ sertifikalı mix standarttan (stok standart) (R-Biopharm Rhone) ara stok standartları hazırlanmıştır. 10 ppb'lik 25 ml ara stok hazırlamak için stok standart'tan 25 ml'lik renkli balon jöjeye otomatik pipetle 1 ml alınıp MeOH ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Ara stoktan 0.1 ppb, 0,2 ppb, 0,4 ppb, 1,2 ppb, 2 ppb, 4 ppb, 5ppb'lik 10'ar ml çalışma standartları hazırlanmıştır.

HPLC Mobil Faz Hazırlanması: Saf su/ACN/MeOH (60/20/30 v/v/v) karışım hazırlanmıştır. Çözeltinin 1 litresine elektrokimyasal türevlendirme için 120 mg KBr ve 350 µl 4 mol HNO₃ ilave edilmiştir.

HPLC şartları: Dalga Boyu: Ex: 360 nm; Em: 430 nm, Sıcaklık: 25 °C, Pompa Akış Hızı: 1 ml/dk, Basınç: ...<300 bar, Enjeksiyon Hacmi : 100 µl'dir.

2.4. Cihazın standartlar ile kalibrasyonu

Her bir aflatoxin için en az beş ayrı noktadan oluşan bir kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Kalibrasyon eğrisi için hazırlanan çalışma standartları kullanılmıştır. Hazırlanan her standarttan HPLC'ye 100 µl enjekte edilmiştir. Her analizde kalibrasyon eğrisi bir standart enjeksiyonu ile kontrol edilmiştir.

2.5. Geri kazanım

Konsantrasyonu belirli aflatoxin standardı, yıllık kalibrasyonu yapılmış HPLC cihazına verilerek standart maddenin piki elde edilmiştir. Numune hazırlanarak aynı programla HPLC cihazına verilmiştir, yine aynı numunenin içerisine belirli miktarda standart eklenerek aynı yöntemle numune hazırlanmış aynı programla HPLC cihazına verilmiştir. Her pike karşılık gelen alanlar belirlenip, standart eklenmiş numunenin alanından numune alanı çıkarılarak, orjinal standartın alanı belirlenmiş olup bu alanlara karşılık gelen konsantrasyonlar hesaplanmıştır.

Geri kazanım (%) = %R = [(CF - CU) / CA] x 100

CF: Standart eklenmiş kör örnek ölçüm sonucu, CU: Standart eklenmemiş kör örnek ölçüm sonucu, CA: Eklenen standart miktarı.

2.6. Ekstraksiyon ve seyreltme

25 g öğütülmüş numune blender kabına aktarılmıştır. Blender kabına 125 ml metanol:su (87,,5:37,,5) ve 5 g NaCl ilave edilmiştir. Blender kabının kapağı kapatılıp yüksek hızda 2 dk süre ile karıştırılmıştır. Ekstrakt kaba filtre kağıdından geçirilmiştir. Elde edilen filtratın 15 ml'si mezüre aktarılmış, üzerine 30 ml ultra saf su ilave edilip iyice karıştırılmıştır. Son olarak, karışım cam mikrofiber filtreden geçirilip, filtrat elde edilmiştir.

2.7. Kolon kromatografisi

15 ml numune ekstraktı immuni affinite kolonundan (İAK) 1-2 damla/saniye hızla geçirilmiştir. Ekstraktan sonra kolondan 2-3 ml hava geçirilmiştir (kolondan her yeni solüsyon veya hava geçirileceğinde, şırınga kolondan ayrılmış ve piston bu durumda çıkarıldıktan sonra şırınga kolona tekrar takılmıştır). Numune ekstraktı kolondan tamamen geçtikten sonra kolondan 20 ml ultra saf su 1-2 damla/saniye hızla geçirilip, ardından tekrar 2-3 ml hava geçirilmiştir. Tekrar, kolondan 1-2 damla/saniye hızla 1 ml metanol (HPLC Grade) geçirilmiştir. Eluat temiz bir vialde toplanmıştır. Yine 2-3 ml hava geçirilerek kolonda metanol kalmaması sağlanmıştır. Son kez kolondan 1 ml ultra saf su geçirilmiştir. Tüp karıştırıcıda karıştırılmıştır. Süzüntü 1.5ml'lik vialde alınıp HPLC cihazına analiz yapmak üzere verilmiştir (HPLC'ye 100 µl enjekte ettirilmiştir).

2.8. Sonucun değerlendirilmesi ve hesaplanması

Seyreltme faktörü hesaplanırken, 25 g örnek 125 ml' ye seyreltilip karışımdan 15 ml alınmıştır. Bu durumda 15 ml'de 1 g örnek vardır. Filtratın 15 ml'si temiz bir mezüre aktarılıp, mezüre 30 ml ultra saf su ilave edilip iyice karıştırılmıştır. Ekstrakt, cam mikrofiber filtre kağıdından geçirilip, filtrat temiz bir mezürde toplanmıştır. 15 ml numune ekstraktı İAK'na alınıp 2. süzüntüye alınırken 1/3 oranında tekrar seyreltme yapıldığı için bu durumda 15 ml'de 1 g örnek vardır. 1 g örnek, 1 ml metanol ve 1 ml saf su ile seyreltilmiştir. Sonuçta 1 g örnek 2 kat olarak seyreltilmiştir. Burada seyreltme faktörü 2'dir. Cihaza seyreltme faktörü yazılıp, çıkan pikin integrasyonu alınarak sonuç ppb olarak hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tayin limiti ve ölçüm limiti

Tayin limiti (LOD) ve ölçüm limiti (LOQ) çalışması için cihazda okunabilen en düşük konsantrasyonların en az 3 katı konsantrasyonda (0,1 ppb) çalışma standardı hazırlanarak sekiz kez

Agilent 1100 HPLC cihazına enjekte edilmiştir. LOD ve LOQ aşağıdaki formüle göre hesaplanmış (Thompson, 2000), sonuçlar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tayin limiti (LOD) = $ORT + (3 \times SD)$, Ölçüm limiti (LOQ) = $ORT + (10 \times SD)$

ORT: Ortalama konsantrasyon, SD: Standart sapma

Tablo 1. Aflatoksin analiz metoduna ait performans sonuçları.

Analiz No	Aflatoksin B ₁ (ppb)	Aflatoksin B ₂ (ppb)	Aflatoksin G ₁ (ppb)	Aflatoksin G ₂ (ppb)	Toplam Aflatoksin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂) (ppb)
1	0,103	0,102	0,101	0,102	0,408
2	0,100	0,100	0,101	0,103	0,404
3	0,101	0,100	0,101	0,101	0,402
4	0,101	0,101	0,100	0,101	0,402
5	0,101	0,102	0,100	0,108	0,411
6	0,102	0,102	0,100	0,103	0,407
7	0,102	0,102	0,102	0,105	0,411
8	0,101	0,101	0,104	0,095	0,401
ORT	0,101	0,101	0,101	0,102	0,406
SD	0,001	0,001	0,001	0,004	0,004
LOD	0,104	0,104	0,105	0,113	0,418
LOQ	0,111	0,110	0,115	0,140	0,446

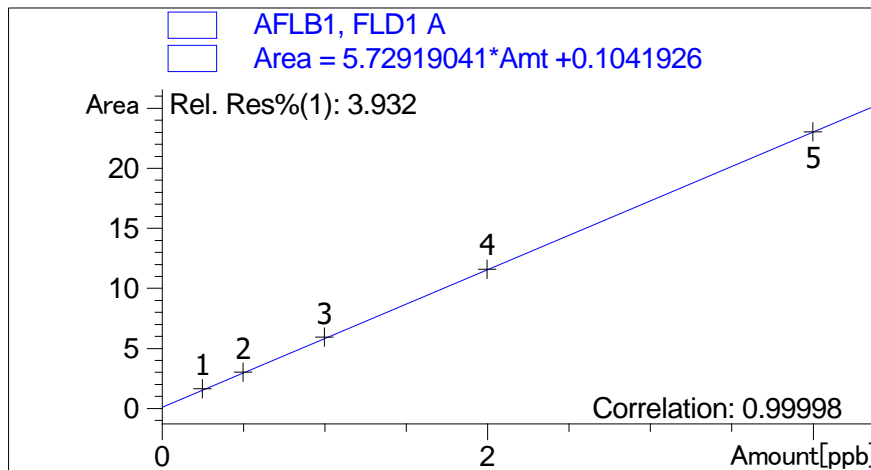
LOD (Limit of Detection): Tespit limiti

LOQ (Limit of Quantification): Tayin limiti

3.2. Lineer ölçüm aralığı

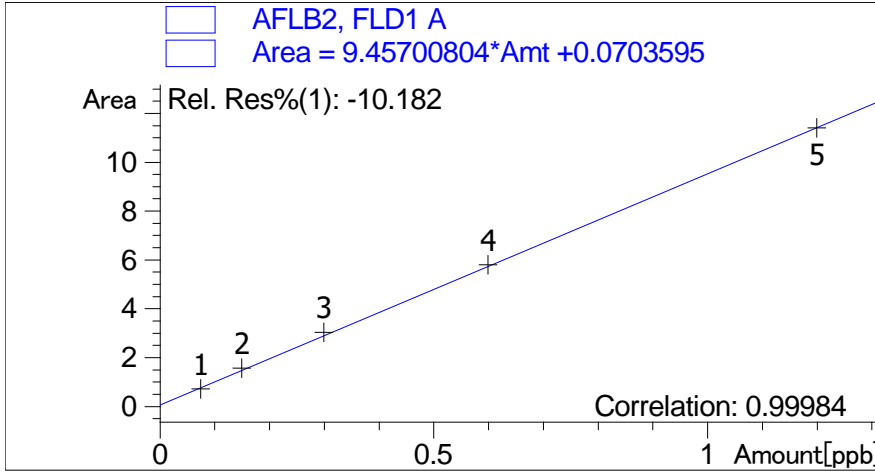
Lineer ölçüm aralığını belirlemek için 5 farklı konsantrasyonda standartlar hazırlanarak, elde edilen sonuçlar kullanılarak kalibrasyon eğrileri çizilmiştir. Aflatoksin standartlarına ait kalibrasyon eğrilerine ait grafikler Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 ‘de verilmiştir.

Aflatoksin B₁ için korelasyon katsayısı (r^2)= 0,9999



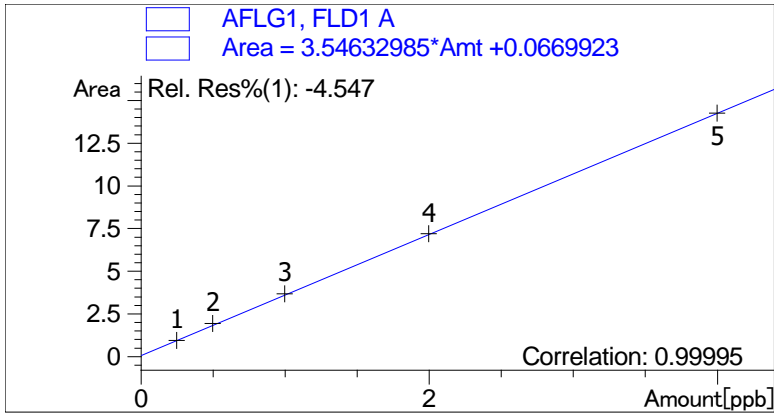
Şekil 1. Aflatoksin B₁ standardına ait kalibrasyon eğri grafiği.

Aflatoksin B₂ için korelasyon katsayısı (r^2)= 0,9998



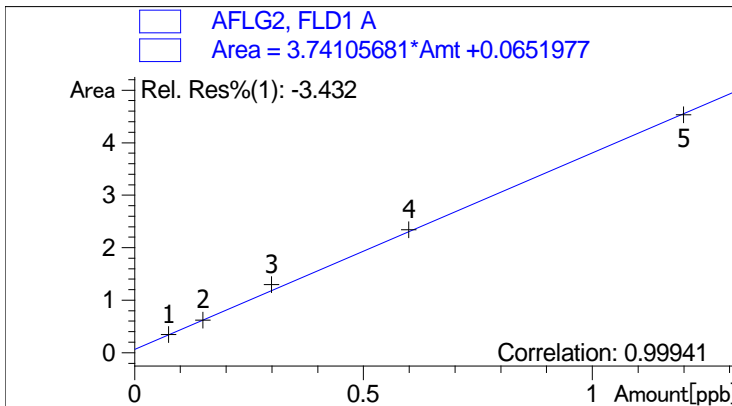
Şekil 2. Aflatoksin B₂ standardına ait kalibrasyon eğri grafiği.

Aflatoksin G₁ için korelasyon katsayısı (r^2)= 0,9999



Şekil 3. Aflatoksin G₁ standardına ait kalibrasyon eğri grafiği.

Aflatoksin G₂ için korelasyon katsayısı (r^2)= 0,9994



Şekil 4. Aflatoksin G₂ standardına ait kalibrasyon eğri grafiği.

Kuru incir örneklerine ait aflatoksin sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kuru incir örneklerinin aflatoksin içerikleri (ppb).

Örnek No	Aflatoksin B ₁ (ppb)	Aflatoksin B ₂ (ppb)	Aflatoksin G ₁ (ppb)	Aflatoksin G ₂ (ppb)	Toplam Aflatoksin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂) (ppb)
1	4,53	1,80	3,45	0,32	10,10
2	3,65	1,16	3,47	0,22	8,50
3	11,01	1,72	4,21	0,24	17,18
4	8,06	1,19	5,12	0,31	14,68
5	6,52	1,50	4,52	0,41	12,95
6	7,02	1,61	5,41	0,37	14,41
7	3,13	1,91	2,12	0,41	7,57
8	4,10	1,87	2,32	0,23	8,52
9	4,58	1,54	5,41	0,24	11,77
10	12,56	1,24	5,65	0,36	19,81
11	11,23	1,74	5,14	0,47	18,58
12	9,63	1,63	4,98	0,45	16,69
13	4,23	1,54	2,31	0,29	8,37
14	3,54	1,98	2,12	0,28	7,92
15	7,56	1,86	4,24	0,31	13,97
16	9,89	1,54	5,87	0,32	17,62
17	4,87	1,69	2,65	0,25	9,46
18	3,65	1,87	1,41	0,35	7,28
19	3,54	1,78	3,25	0,32	8,89
20	3,52	1,94	2,17	0,31	7,94
21	4,54	1,61	3,18	0,41	9,74
22	2,58	1,69	3,57	0,41	8,25
23	3,41	1,54	3,41	0,43	8,79
24	3,51	1,96	4,12	0,39	9,98
25	2,41	1,94	1,96	0,29	6,60
Min	2,41	1,16	1,96	0,22	6,60
Max	12,56	1,98	5,87	0,47	19,81
Ort	5,47	3,38	3,60	0,34	11,26

“‘Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ (2011/28157)’” ile belirlenmiş olan yasal değerlere baktığımızda kuru incir için yasal sınır AFB₁ için 5 µg kg⁻¹, toplam AF (B₁+B₂+G₁+G₂) için 10 µg kg⁻¹ dir. Tablo 2 ‘de görüldüğü gibi 25 adet kuru incir örneğinin 11 tanesinde (%44’ünde) toplam aflatoksin tespit edilmiştir. Toplam AF'lerin konsantrasyonları 10,10 ile 19,81 µg kg⁻¹ arasında belirlenmiştir. 25 adet kuru incir örneğinin %36’sında (9 adet) AFB₁ tespit edilmiştir. AFB₁ ‘lerin konsantrasyonları 6,52 ile 12,56 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. AFG₁ ise numunelerin %24’ünde (6 adet) bulunmuştur. Toplam AFG₁'lerin konsantrasyonları 5,12 ile 5,87 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Aflatoksin tespit edilen örneklerin değerleri “‘Gıda Maddelerindeki Bulaşanların Maksimum Limitleri Hakkında Tebliğ (2011/28157)’” ile belirlenmiş olan yasal değerlerin üzerindedir. Kabak (2016), yaptığı çalışmada 130 incir numunesinin % 12,3’ünde (16 adet) AF tespit etmiştir. AF'lerin konsantrasyonları 0,1 ile 28,2 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Dört AF türünün tümü saptanırken, en sık meydana gelen AF'ler 0,1 ile 12,5 µg kg⁻¹ arasında değişirken AFB₁ (% 12,3), AFB₂ 0,2 ile 10,72 µg kg⁻¹ kadar değişen seviyelerde, %6,9 olarak tespit

edilmiştir. AFG₁ üç numunede (%2,3) ve AFG₂ ile sadece bir örnekte (%0,8) bulunmuştur. Analitik sonuçlara göre, altı kuru incir örneği AFB₁ 20 µg kg⁻¹ Avrupa Birliği (AB) üye ülkelerinde aflatoksinlerin yasal limitlerinden (AB MRL değeri) daha yüksek seviyede tespit edilmiştir. AB MRL değerlerine baktığımızda kuru incir için yasal sınır AFB₁ için 6 µg kg⁻¹, toplam AF (B₁+B₂+G₁+G₂) için 10 µg kg⁻¹ dir. Bircan ve ark., (2008), HPLC yöntemini kullanarak AF'lerin varlığı için Türkiye'den AB'ye ihracat için toplam 4917 adet kuru incir örneğini analiz etmiştir. Kurutulmuş incir örneklerinin %32'sinde, toplam AF'ler 10 ila 260 µg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada, Toplam AF'nin kontaminasyonu, iç piyasada satılan, toplam 219 kuru incir numunesinin % 47,5'sinde, ihracata yönelik olanlarda 2461 kuru incirin %23,6'sında maksimum 10 ile 278 µg kg⁻¹ oranında tespit edilmiştir (Bircan ve Koç, 2012). Mimoune ve ark., (2018), Cezayir'den toplanmış 112 adet incir, yer fıstığı ve badem örneklerinde aflatoksin B₁ (AFB₁), B₂ (AFB₂), G₁ (AFG₁) ve G₂ (AFG₂) 'nin oluşumu, kolon sonrası floresan tespiti ile bağlanmış yüksek performanslı sıvı kromatografisine (HPLC) dayanan hassas bir yöntemle belirlemiştir. Analitik sonuçlar, 28 fıstık numunesi, 16 badem numunesi ve 26 kuru incir numunesi tespit edilebilir AF seviyeleri içerdiğini göstermiştir. 69 örnekte (%61,6) toplam AFB₁ maksimum 174 µg kg⁻¹'a kadar tespit edilmiştir. AFB₂, 12 örnekte (%10,7) bulunmuş ve 0,18 ile 193 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. 7 örnek, AF konsantrasyonları bakımından düşük bulunmuştur. 11 fıstık ve 14 kurutulmuş incir örneği AFB₁ için Avrupa maksimum sınırlarını aşmıştır.

İncirde uygun olmayan depolama şartları, hasat ve kurutmanın uzun sürmesi aflatoksin oluşumu için en önemli durumlardır. Kuru incirin geleneksel üretim tekniği ve meyve yapısı gereği ostiol açıklığının bulunmasından dolayı üretiminde iyi tarım uygulamaları uygulansa dahi genellikle aflatoksin oluşumu engellenememektedir. Böyle durumlarda aflatoksinli incirlerin işletme koşullarında seçilerek ayıklanması gerekmektedir. Meyve yüzeyinde veya içerisinde oluşan aflatoksinin çeşitli yöntemler ile parçalanması (detoksifikasyon) incir meyvesi için çoğunlukla mümkün olmamakla beraber dünyada ve ülkemizde yasak bir uygulamadır. Kuru incirde yapılan çalışmalarda en çok tespit edilen mikotoksinler AF'ler ve OTA'dır. Bir çok meyveye göre, incirler daha yüksek miktarda AFB₁ içermektedir (Heperkan, 2006). Kuru incirde AF'ler, OTA, fumonisin (Karbancıoğlu-Güler ve Heperkan, 2008) ve patulin (Karaca ve Nas, 2006) gibi mikotoksinlerin olduğunu gösteren bir çok çalışmalar vardır. Yapılan araştırmalar sonucunda karanlık oda şartlarında seçilen incirlerin yaklaşık %0,6-1,2'sinde ışığa yapan meyve olduğu ortaya konulmuş olup bunların ayıklanması inciri güvenli bir besin kaynağı haline getirmektedir. Aflatoksin bulunsu dahi belirli limitlerle izin verilen gıdalar dünyada ve ülkemizde vardır. İncir ve kırmızı pul biberde bu sınır değerler genellikle AFB₁ için 5ppb, toplam AF için 10ppb'dir. Sonuç olarak incirde aflatoksin bulunma riski günlük diyetimizde çok fazla yer alan tahıl, hububat ve hazır gıdalardaki aflatoksin riskine göre daha düşük seviyelerdedir.

Tablo 3. Kırmızı pul biber örneklerinin aflatoksin içerikleri (ppb).

Örnek No	Aflatoksin B ₁ (ppb)	Aflatoksin B ₂ (ppb)	Aflatoksin G ₁ (ppb)	Aflatoksin G ₂ (ppb)	Toplam Aflatoksin (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂) (ppb)
1	4,53	1,10	-----	-----	5,63
2	3,65	-----	-----	-----	3,65
3	5,01	1,22	-----	-----	6,23
4	4,06	1,19	-----	-----	5,25
5	3,52	1,20	-----	-----	4,72
6	7,02	-----	-----	-----	7,02
7	3,13	0,24	-----	-----	3,37
8	4,10	0,13	-----	-----	4,23
9	4,58	0,14	-----	-----	4,72
10	12,76	0,24	-----	-----	12,08
11	11,23	1,12	-----	-----	12,35
12	9,63	1,21	-----	-----	10,84
13	4,23	-----	-----	-----	4,23
14	3,54	0,14	-----	-----	3,68
15	4,56	1,10	-----	-----	5,66
16	9,89	-----	-----	-----	9,89
17	8,87	1,21	-----	-----	10,08
18	3,65	0,15	-----	-----	3,80
19	2,54	0,18	-----	-----	2,72
20	3,52	0,21	-----	-----	3,73
21	4,54	0,32	-----	-----	4,86
22	2,58	-----	-----	-----	2,58
23	3,41	0,21	-----	-----	3,62
24	4,52	0,32	-----	-----	4,84
25	2,21	0,34	-----	-----	2,75
Min	2,21	0,13	-----	-----	2,72
Max	12,76	1,22	-----	-----	12,35
Ort	5,25	0,48	-----	-----	5,70

----- Tespit edilemedi veya LOQ değerinin altındadır.

Kırmızı biberlerde, AFB₁ ve toplam aflatoksin için izin verilen değerin Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği (TGK, 2011) ve Avrupa Birliği gıda mevzuatında (EU, no 165/2010) sırasıyla 5 ppb ve 10 ppb olduğu bildirilmektedir (Anonymous, 2010; Anonim, 2011). Tablo 3’de görüldüğü gibi, kırmızı biber örneklerinin %28’i (7 adet) AFB₁ açısından standartlara uymadığı tespit edilmiştir. Analiz edilen örneklerin toplam AF açısından %16’sı (4 adet) dışında yasal limitleri aşmadığı belirlenmiştir. Sonuçlara göre, genelde kırmızı pul biber örneklerinin aflatoksin içeriklerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Örneklerden bazılarının tespit limitinin üzerinde çıkması, kullanılan taze biber çeşit, kalitesi ve içerdiği su aktivitesi, kurutma sıcaklığı, proses ortamı ve iklim koşullarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Ayrıca üretim zamanlarının ve kurutma süresinin farklı olması bu farklılıkların oluşmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Kontrollü şartlarda üretilen kırmızı biberlerde aflatoksin içeriklerin çok düşük olduğu belirtilmektedir (Marin ve ark., 2009).

Zahra ve ark., (2018) Pakistan’daki kırmızı biber, karabiber, incir ve kuru kayısıdan oluşan toplam 90 örneği incelenmiş ve ince tabaka kromatografisi (TLC) kullanılarak analiz etmiştir. Örneklerin

%26'sında (24 adet) aflatoksin B₁ tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kırmızı biber 23,99-97,42 µg kg⁻¹ arasında, karabiber 47,68-75,78 µg kg⁻¹, incir 6,72-14,43 µg kg⁻¹, incir ise 10-13,2 µg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir. Kuzukiran ve ark., (2018) tarafından öğütülmüş 45 adet kırmızı toz biberlerde toplam aflatoksin (AF) içeriği incelenmiştir. Toplanan örneklerden %51,12'sinin AF'ler ile kirlenmiş olduğu bulunmuş, ancak yalnızca % 28,89'unun maksimum kalıntı limitleri üzerinde AF içerdiği tespit edilmiştir. Ardıç ve ark., (2008) tarafından 75 kırmızı biber örneğinde aflatoksin taraması yapılmış ve örneklerin %14,7'sinin AFB₁ açısından standartlara uymadığı tesbit edilmiştir. Hindistan'da kırmızı biberlerin %18'inin MRL'nin üzerinde AF içerdiği tespit edilmiştir (Reddy ve ark., 2001). Şanlıurfa'da satılan kırmızı biberlerde %31 oranında MRL'nin üzerinde AF içerdiği tespit edilmiştir (Karaaslan ve Arslangray, 2015).

Avrupa Birliği'ndeki toplam aflatoksinlerin (B₁+B₂+G₁+G₂) yasal sınırı, 165/2010 / AB Komisyon Tüzüğüne göre 10g kg⁻¹'dir. Macaristan'da kırmızı biberlerde yapılan bir çalışmada, 22 adet numunenin 2'si aflatoksin B₁ ile kirlenmiş, her ikisi de yasal limitin altında tespit edilmiştir (4,33 ± 1,06 ve 3,44 ± 1,11 g kg⁻¹) (Helga ve ark., 2018). Peter ve Cotty (2017) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Nijerya'da piyasadan toplanan chili biberlerde AFB₁ araştırılmıştır. Amerikada 169 adet chili biber örneğinin %64'ünde, Nijerya'da 55 adet chili biberlerin %93'ünde AFB₁ tespit edilmiştir. Amerikada'ki kirli örnekler 20 µg kg⁻¹ ila 94,9 µg kg⁻¹ arasında, Nijerya'daki kirli örnekler maksimum 156 µg kg⁻¹ AFB₁ içerdiği tespit edilmiştir. Iqbal ve ark., (2017) tarafından Pakistan restoranlarında bulunan 312 adet tam yağlı biber, biber tozu, ezilmiş kırmızı biber ve acı biber sosu numuneleri aflatoksin (AF) ve okratoksin A yönünden araştırılmıştır. 312 örnekten 176'nın (%56,4) AF'lerle pozitif olduğunu ve 312 örneğin 126'sının (%40,4) OTA ile kontamine olduğunu bulmuşlardır. Toplam ortalama, toplam AF 12,50±1,91 µg kg⁻¹, toplam ortalama OTA düzeyi 16,68 ± 2,58 µg kg⁻¹, LOD ile 120,9 µg kg⁻¹ arasında tespit edilmiştir.

Biberlerde genel olarak aflatoksin görülme sıklığı ve seviyeleri yüksektir. Çünkü kırmızı biber üretiminde, kullanılan taze biberlerin su içeriğinin yüksek olması sebebiyle ve karakteristik rengini elde etmek için uzun kurutma süreleri uygulanmaktadır. Aflatoksin oluşumunda kurutma süresinin de önemli bir etken olduğu ve bu sürenin uzamasına bağlı olarak aflatoksin oluşumunun da arttığı belirtilmektedir (Cho ve ark., 2008). Bu durumda tüketiciler için ciddi sağlık tehlikeleri oluşturabilmektedir.

Özellikle kırmızı pul biberin doğal yada suni olarak kurutulması sırasında, biberlerin sıcaklığının yükseltilmesi ve böylece kurutma işleminin daha etkin ve hızlı gerçekleşmesinin de su aktivitesinin hızlı düşmesinde ve aflatoksin gelişimini engellemede etkili olduğu bildirilmektedir (Atasoy ve ark., 2016).

4. Sonuç

Sonuç olarak, kuru incir örneklerimizin %44'ünde (11 adet), toplam AF, %36'sında (9 adet numune) AFB₁, %24'ünde (6 adet) AFG₁ tespit edilmiştir. Toplam AF'lerin konsantrasyonları 10,10 ile 19,81 µg kg⁻¹ arasında, AFB₁'lerin konsantrasyonları 6,52 ile 12,56 µg kg⁻¹ arasında AFG₁'lerin konsantrasyonları 5,12 ile 5,87 µg kg⁻¹ arasında değişmiştir. Kırmızı biber örneklerinin %28'i (7 adet) AFB₁, %16'sı (4 adet) toplam AF açısından standartlara uymadığı tespit edilmiştir. Biber örneklerinin, toplam AF açısından %16'sı (4 adet) dışında yasal limitleri aşmadığı belirlenmiştir.

Tarımsal gelişmelerin daha iyi uygulandığı günümüz dünyasında geleneksel olarak genelde güneşte kurutma yönteminin neden olduğu aflatoksin ve diğer mikotoksin içeren ürünler, tüketicilerde ciddi sağlık sorunlarına neden olmakta, ürünlerde yasal limitlerin üzerinde değerlerin tespit edilmesi halinde de üreticiler için de büyük ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Ticari olarak da satılan kurutulmuş meyvelerin, ve baharatların uygun olmayan şartlarda depolanması aşamalarında küf gelişimi ve dolayısıyla aflatoksin oluşumu söz konusudur. Mikotoksin riskinin önlenmesinde en baştan uygulanması gerekli en iyi strateji, gıdaların üretimden tüketime kadar toksin bulaşması muhtemel üretim aşamalarında özellikle nem kontrolü yapılmalı, iyi tarım uygulamalarının (GTP) ve iyi üretim tekniklerinin kullanılması (GMP), gıdaların aflatoksin yönünden analitik yöntemlerle analizleri yapılarak, yüksek aflatoksin içeren gıdaların tüketilmesine izin verilmemesidir. Ayrıca mikotoksinlere rastlanılan gıda maddelerinin besin kaynağı olarak kullanılmasının ve ticari anlamda alınıp satılmasının yasal düzenlemeler ile devlet tarafından düzenlenip, gerekli kontrollerin daha sık yapılıp, izlenmesi gereklidir. Bu çalışmada olduğu gibi diğer birçok çalışmada, kurutulmuş meyvelerde ve baharatlarda sağlık üzerine toksik etkilere sahip olan aflatoksin varlığının araştırılması ile insan sağlığı için risk oluşturacak düzeyde toksin içerip içermediğinin belirlenmesinin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

5. Kaynakça

- Akova Y. Kuru incir. T. C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi Sektör Raporu 2009.
- Anonim. Türk Gıda Kodeksi (TGK) Bulaşanlar Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete, 28157(3), 29 Aralık 2011.

- Anonymous. Commission Regulation (EU) No 165/2010, Amending Regulation (EC) No 1881/2006 Setting Maximum Levels for Certain Contaminants In Foodstuffs as Regards Aflatoxins. Official Journal of The European Union, 53, 27.02.2010.
- AOAC. Aflatoxins B1 and total aflatoxin in peanut butter, pistachio paste, fig paste and paprika powder. Immunoaffinity Column Method (Method No. 999.07), J.AOAC Int. 2000; 83:320-340.
- Ardic M., Karakaya Y., Atasever M., Durmaz H. Determination of aflatoxin b₁ levels in deep-red ground pepper (isot) using immunoaffinity column combined with elisa. Food and Chemical Toxicolog 2008; 46: 1596-1599.
- Artık N. Gıda mikotoksinleri ve insan sağlığı açısından önemi. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayın Dairesi Başkanlığı, Gıda Serisi No: 6, Ankara, 2007; 9-57.
- Atasoy AF., Hayoğlu İ., Korkmaz A., Kara E., Yıldırım A. Geleneksel ev isot baharatının aflatoksin içeriğinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 2017; 21(1): 35-40.
- Babalıs SJ., Belessiotis VG. Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. Journal of Food Engineering 2004; 65: 449-458.
- Bircan C., Barringer SA., Ulken U., Pehlivan R. Increased aflatoxin contamination of dried figs in a drought year, Journal of Scientific Research 2008; 25: 1400-1408.
- Bircan C., Koç M. Aflatoxins in dried figs in Turkey: A comparative survey on the exported and locally consumed dried figs for assessment of exposure. Journal of Agricultural Science and Technology; 2012; 14: 1265-1274.
- Blesa J., Soriano JM., Molto JC., Manes J. Limited survey for the presence of aflatoxins in foods from local markets and supermarkets in Valencia, Spain. Food Addit. Contam 2004; 21: 165-171.
- Cemeroğlu B., Özkan M. Kurutma teknolojisi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Başkent KLişe Matbaacılık, Ankara, Türkiye 2004; 479-618.
- Cho SH., Lee CH., Jang MR., Son YW., Lee SM., Choi IS., Kim SH., Kim DB. Aflatoxins contamination in spices and processed spice products commercialized in Korea. Food Chemistry 2008; 107: 1283-1288.
- Council for Agricultural Science and Technology Mycotoxins. Risks in Plant, Animal and Human Systems Council; Ames, Iowa, USA, 2003.
- Duman AD., Zorlugenç B., Evliya B. Kahramanmaraş'ta kırmızı biberin önemi ve sorunları. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 2003; 5(1): 111-117.
- Helga M., Éva K., Zsolt Z., Rita T., Farkasa A., Nóra A. Chemical characteristics of spice paprika of different origins, Food Control 2018; 83: 54-60.
- Heperkan D. The importance of mycotoxins and a brief history of mycotoxin studies in Turkey. ARI Bulletin of Istanbul Technical University 2006; 54: 18-27.

- Inan F., Pala M., Doymaz I. Use of ozone in detoxification of aflatoxin b1 in red pepper. *Journal of Stored Products Research* 2007; 43: 425–429.
- Iqbal SZ., Asi MR., Mehmood Z., Mumtaz A., Malik N. Survey of aflatoxins and ochratoxin A in retail market chillies and chili sauce samples. *Food Control* 2017; 81: 218-223.
- Kabak B. Aflatoxins in hazelnuts and dried figs: Occurrence and exposure assessment. *Food Chemistry* 2016; 211: 8-16.
- Karaca H., Nas S. Aflatoxins, patulin and ergosterol contents of dried figs in Turkey. *Food Additives and Contaminant* 2006, 23(5): 502-508.
- Karbancıoğlu-Güler F., Heperkan D. Natural occurrence of Ochratoxin A in dried figs. *Analytica Chimica Acta*, 2008; 617: 32-36.
- Kuzukiran O., Filazi A., Yurdakok-Dikmen B., Ozansoy-Cengiz G., Safa-Gurcan I., Karabulut E., Tansel-Sireli U. The effects of aflatoxin residues on nutritional contents in ground red chili peppers (*Capsicum annum*), *Toxin Reviews* 2018; doi: 10.1080/15569543.2018.1532964
- Marin S., Colom C., Sanchis V., Ramos AJ. Modelling of growth of aflatoxigenic *a. flavus* isolates from red chilli powder as a function of water availability. *International Journal of Food Microbiology* 2009; 128: 491–496.
- Magan N., Olsen M. *Mycotoxins in food: Detection and control*. Woodhead Publishing Ltd: New York, 2004; 471.
- Mimoune NA., Manzanares NA., Gracia LG., Campana AMG., Sabaou KBN., Riba A. *Aspergillus* section *Flavi* and aflatoxins in dried figs and nuts in Algeria. *Food Additives and Contaminants: Part B* 2018; 11(2): 119-125.
- Reddy SV., Mayi DK., Reddy MU., Thirumala-Devi K., Reddy DVR. Aflatoxins B1 in different grades of chillies (*Capsicum annum* L.) in India as determined by indirect competitive-ELISA. *Food Additives and Contaminants*, 2001; 18: 553–558.
- Peter S., Cotty J. Aflatoxin contamination of dried red chillies: Contrasts between the United States and Nigeria, two markets differing in regulation enforcement. *Food Control* 2017; 80: 374- 379.
- Sabuncuoğlu SA., Baydar T., Giray B., Şahin G. Mikotoksinler: toksik etkileri, degradasyonları, oluşumlarının önlenmesi ve zararlı etkilerinin azaltılması. *Hacettepe Üniv Ecz Fak Derg*, 2008; 28(1): 63-92.
- Thompson M. Recent trends in Inter-laboratory Precision at ppb and sub-ppb Concentrations in Relation to Fitness for Purpose Criteria in Proficiency Testing, *Analyst* 2000; 385-386.
- Zahra N., Khan M., Mehmood Z., Saeed MK., Kalim I., Ahmad I., Malik KA. Determination of aflatoxins in spices and dried fruits. *Journal of Scientific Research* 2018; 10(3): 315-321.

Çam ve Çiçek Balı İlavesi ile Üretilen Ayranların Bazı Kimyasal ve Duyusal Özellikleri

Yunus Nail İNCE¹, Mehmet ÇELEBİ^{2*}, Bedia ŞİMŞEK³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 09010, Aydın

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

¹<https://orcid.org/0000-0003-2311-1961>

²<https://orcid.org/0000-0002-0769-299X>

³<https://orcid.org/0000-0002-7497-1542>

*Sorumlu yazar: mehmet.celebi@adu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.01.2022

Kabul tarihi: 28.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Ayran
Çiçek balı
Çam balı

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, farklı kaynaklardan sağlanan balların ayrana ilavesi ile fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş bir ayran üretmektir. Bal ilavesi ile üretilen ayranların duyuşsal olarak kabul edilebilirliğini değerlendirmek, ayrıca farklı oranlardaki balın ve baldaki çeşit farklılığının ayrandaki etkisini incelemek çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Ayran üretiminde, iki çeşit bal (çiçek ve çam balı) ve bu balların eşit oranlı karışımı ile iki ayrı oran (%10 ve %20) kullanılmıştır. Depolama süresince (1., 10. ve 21. gün) ayran örneklerinin mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşsal analizleri yapılmıştır. Elde edilen istatistiksel verilere göre ayran örneklerinde örnekler arasında toplam kuru madde (%), yağ (%), laktik asit (%), protein (%) sonuçları arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Ayran örnekleri görünüş, yapı, koku ve tat özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bal ilave oranı %10 olan ayranlar diğerlerine göre panelistler tarafından daha çok beğenilmiştir. Tat olarak en çok çiçek balı ilavesinin tercih edildiği, bunu çam ve karışım balın takip ettiği saptanmıştır. Sonuç olarak bal ilavesinin ayranların asidik tadını baskıladığı ve özelliklerine katkıda bulunduğu ancak %10 oranının üzerine çıkıldığında bazı ayrana ait özelliklerin kaybolduğu belirlenmiştir.

Some Chemical and Sensory Properties of Ayran Produced by Adding Honeydew Honey and Flower Honey

Research Article

Article History:

Received: 22.01.2022

Accepted: 28.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Ayran
Flower honey
Honeydew honey

ABSTRACT

The aim of this study is to produce Ayran which improved functional properties by adding honey from different sources to Ayran. The subject of the study is to evaluate the sensory acceptability of Ayran produced with the addition of honey, as well as to examine the effect of different ratios of honey and difference variety of honey on Ayran. Two types of honey (flower and honeydew honey) and an equal mixture of these honeys and two different ratios (10% and 20%) were used in the production of Ayran. Microbiological, chemical and sensory analyzes of Ayran samples were performed during storage (1st, 10th and 21st days). According to the statistical data obtained, the difference between the total dry matter (%), fat (%), lactic acid (%), protein (%) data of Ayran samples was found significant ($p < 0,05$). Ayran samples were evaluated according to their appearance, structure, smell and taste. Ayran with 10% honey added were liked more by the panelists than the others. It was determined that the addition of flower honey was preferred most, followed by honeydew honey and mixed honey. As a result, it has been determined that the addition of honey suppressed the acidic taste of Ayran and contributed to their properties, but when the ratio is exceeded 10%, some properties of Ayran are lost.

To Cite: İnce YN., Çelebi M., Şimşek B. Çam ve Çiçek Balı İlavesi ile Üretilen Ayranların Bazı Kimyasal ve Duyusal Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1407-1418.

1. Giriş

İnsan beslenmesinde önemli bir yeri olan yoğurdun en önemli tüketim şekillerinden biri ayrandır. Geleneksel bir Türk içeceği olan Ayran, yoğurda su ilave edilerek (ev tipi) veya fermantasyon için kurumaddesi standardize edilmiş süte, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* eklenerek (endüstriyel üretim) üretimi yapılan içilebilir bir fermente süt ürünü olarak tanımlanmaktadır. Ayran, hoş tadı ve kokusu, besleyici ve sağlıklı olması sebebiyle fermente süt ürünleri arasında ayrı bir yere sahiptir. Ayrıca kolay sindirilebilir, vitamin ve kalsiyum içeriğinin yüksek olmasından dolayı değerli bir içecektir (Gülmez ve ark., 2003; Polat ve Güzeler, 2010; Altay ve ark., 2013). Ayran, Orta Asya' da, Anadolu' da, Balkanlar' da ve Orta Doğu' da sadece yoğurt içeceği tuz ile tüketilmektedir. Avrupa ve Amerika' da çoğunlukla içilebilir yoğurt olarak ayran benzeri ürünlerle karşılaşılmaktadır. Bu ürünler tatlandırıcı ve meyve içeren şekliyle de tercih edilmektedir (Çolakoğlu ve Gürsoy, 2011).

Bal, arılar (*Apis mellifera*) tarafından üretilen bir sıvı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek ozmolariteye sahip bal çözeltisi monosakkaritten (%32,2 fruktoz ve %31,3 glukoz), disakkaritten (%1,31 sukroz, %7,11 laktoz ve %7,31 maltoz) ve sudan (%15–23) oluşmaktadır. Bal antibakteriyel ve antioksidan özelliklere sahip bir gıda maddesidir. Antibakteriyel özellikleri içeriğinde bulunan flavonoidlerden kaynaklanmaktadır. Antibakteriyel mekanizma, balın ozmotik basıncı, asitliği ve inhibitör bileşiklerinin varlığından oluşmaktadır (Anwar ve ark., 2021). Ayrıca içerdiği şekerler kolay sindirilebilir ve kana kolay geçebilir olduğu için uygun enerji kaynağı olarak insan beslenmesinde önemlidir. Glukozun, beynin enerji kaynağı olma, triptofanın taşınmasında ve serotonin sentezinde rol alma özelliğinin olması balın beslenme açısından değerini artırmaktadır (Doğan, 2011).

Ayrana aroma vermek ve tatlandırmak amacıyla çeşitli maddelerin ilave edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar ayrana elma (Sun-Waterhouse ve ark., 2012), erik nektarı (Abdel-Galeele ve ark., 2013), hurma ve incir şurubu (Jafarpour ve ark., 2017), çilek ve böğürtlen (Ahmed, 2017), üzüm ve kayısı suyu (Ismail ve ark., 2020) ilavesi yaparak ayranın özelliklerini incelemişlerdir. Ayran üretiminde bal ilavesi yapılan çalışmalarda rastlanmamasına rağmen fermente bir ürün olan kefir içeceğine bal ilave ederek ürün özelliklerindeki değişiklikleri inceleyen araştırmacılar bulunmaktadır (Doğan, 2011; de Oliveira Coelho ve ark., 2019; Perna ve ark., 2019; Anwar ve ark., 2021; Bielska ve ark., 2021).

Bu çalışmanın amacı ayrana bal ilave ederek ayranın kendine özgü asidik ve tuzlu tadını baskılayarak fonksiyonel özellikte bir ürün üretmektir. Ayrıca ayranın özelliklerini ilave edilen bal çeşitlerinin ve farklı bal oranlarının nasıl değiştirdiğini, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal incelemelerle değerlendirmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Ayran üretiminde kullanılan çiğ inek sütü Isparta Ünsüt süt işletmesinden temin edilmiştir. Üretimde kullanılan ayran kültürü (YF-L903, Chr Hansen™), Chr. Hansen San. Tic. A.Ş. İstanbul – Türkiye’den sağlanmıştır. Ballar (çam balı ve çiçek balı), Isparta’da bulunan yerel üreticilerden elde edilmiştir.

2.2. Bal İlaveli Ayran Üretimi

Çiğ inek sütü 90 °C sıcaklıkta 10 dakika ısıtıldıktan sonra 45 °C’ye soğutulmuştur. İnokülasyon sıcaklığına soğutulan süte (45±2 °C) %2 oranında ayran kültürü (YF-L903, Chr Hansen™) inoküle edilmiştir. Yoğurt pıhtısının pH’ı 4,4–4,5 düzeyine gelince inkübasyona son verilmiştir. Fermantasyon işlemi sonlandırıldıktan sonra ayran kurumaddesi %7,5 olacak şekilde su ile ayarlanmıştır. Daha sonra %0,3 tuz ilavesi yapıp, homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır (Kök Taş, 2005; Polat, 2009). Üretimi yapılan ayran yedi eşit parçaya bölünmüştür. İlk grup kontrol grubu (A örneği) olarak bal ilave edilmeksizin hazırlanmıştır. Geriye kalan gruplara sırası ile; %10 g/mL çiçek balı (B örneği), %20 g/mL çiçek balı (C örneği), %10 g/mL çam balı (D örneği), %20 g/mL çam balı (E örneği), %10 g/mL karışım (çam ve çiçek balı;1:1) (F örneği), %20 g/mL karışım (çam ve çiçek balı; 1:1) (G örneği) bal ilave edilmiştir. Ayranlar homojen olarak karıştırılmıştır. Daha sonra üretilen ayranlar buzdolabı sıcaklığında (+4 °C) depolanarak 1., 10., ve 21. günde kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada depolama süresi seçiminde ilgili literatür (Paucean ve ark., 2011; Celekli ve ark., 2019) ve ayranın raf ömrü dikkate alınmıştır. Çalışma üç tekerrürlü olarak üretilmiştir.

2.3. Metot

2.3.1. Çiğ Sütte Yapılan Analizler

Ayran üretiminde kullanılan çiğ süte uygulanan analizler; kurumadde oranı; AOAC (1997)’e göre gravimetrik metotla ve titrasyon asitliği Anonim (1990)’e göre gerçekleştirilmiştir. pH değeri WTW pH 315 (Weilheim, Almanya) dijital pH metre ile ölçülmüştür. Çiğ sütün yağ oranı; Anonim (1990)’da belirtilen Gerber metoduna göre belirlenmiştir.

2.3.2. Balların Kimyasal Analizleri

Balların toplam çözünür katı madde içerikleri (briks) dijital refraktometre HANNA HI 96801 (Hanna Instruments Inc., USA) ile ölçülmüştür.

2.3.3. Ayranların Kimyasal analizleri

Ayran örneklerine uygulanan analizler; titrasyon asitliği Anonim (1990)’e göre tespit edilmiştir. Kurumadde oranı; AOAC (1997)’e göre gravimetrik metotla belirlenmiştir. Yağ oranı Gerber metoduna göre saptanmıştır (Anonim, 1990). Ayran örneklerinin tuz oranları Mohr titrasyon

yöntemine göre bulunmuştur. Örneklerin toplam azot miktarları mikro-Kjeldahl yöntemiyle tespit edilmiştir (AOAC, 1997). Elde edilen sonuçlar 6,38 faktörü ile çarpılarak protein oranları hesaplanmıştır. Serum ayrılması Özünlü ve ark. (2007)' nin belirttiği yöntemle göre bulunup, % olarak verilmiştir.

2.3.4. Mikrobiyoloji Analizleri

Toplam aerobik mezofilik bakterilerin sayımı Plate Count agar (PCA) ile Anonim (1998)' e göre yapılmıştır. Maya-küf sayımı için Potato Dextrose agar (PDA) ile Özçelik (1992)' de belirtilen yöntem uygulanmıştır. Toplam koliform bakterilerin sayımı ise Eosin Methylen-blue (EMB) agar ile yapılmıştır (Anonim, 1998).

2.3.5. Duyusal Analizler

Ayranların duyu analizleri Uysal ve ark. (2004) tarafından verilen yöntemle göre uygulanmıştır. Ayranların 1., 10. ve 21. günlerinde panelistlere değerlendirme şekli, duyu test teknikleri ve ürün özellikleri üzerine eğitim verilmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü doktora, yüksek lisans öğrencileri ve akademik personelden oluşan 15 panelist (12 kız ve 3 erkek) tarafından puanlama yöntemine göre değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Ayran örnekleri 20-25 mL' lik porsiyonlar halinde sade bisküvi ve su ile panelistlere sunulmuştur. Panelistler testte renk, yapı (kıvam), tat ve ağızda bıraktığı his, koku ve genel kabul edilebilirlik özelliklerine göre puanlama (1–10 puan arası) yapmışlardır. Değerlendirmede 1 puan beğenmedim, 10 puan çok beğendim şeklinde yorumlanmıştır.

2.3.6. İstatistiksel Analizler

Ayran örneklerinde varyans analizi yapılarak, Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987). İstatistik analizleri SPSS 17.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çiğ Sütün Kimyasal Özellikleri

Ballı ayran üretiminde kullanılan çiğ sütün pH, laktik asit (%), kuru madde (%), protein (%) ve yağ (%) değerleri sırasıyla; $6,83 \pm 0,28$, $0,19 \pm 0,03$, $11,65 \pm 0,05$, $3,18 \pm 0,02$ ve $3,50 \pm 0,10$ olarak saptanmıştır. Akın ve ark. (2016)' nin çiğ süt analiz sonuçları ile ayran üretimi için kullanılan sütlerin özellikleri benzer niteliktedir. Çiğ süt ve ısıtılmış işlem görmüş içme sütleri tebliğine göre, çiğ inek sütünün protein oranının en az %2,8, %laktik asit değerinin ise 0,14–0,20 arasında olması istenmiştir. Çiğ inek sütünün %yağsız kuru madde değerinin en az 8,5, %yağ miktarının ise en az 3,5 olması gerektiği de belirtilmiştir (T GK, 2006). Çalışmada ayran üretiminde kullanılan çiğ sütün kimyasal özelliklerinin, çiğ süt tebliğine uygun olduğu gözlenmektedir.

3.2. Balların Kimyasal Özellikleri

Balların toplam çözünür katı madde içerikleri (briks) süzme çiçek balında $80,5 \pm 0,5$ ve süzme çam balında $82 \pm 0,2$ olarak bulunmuştur. Kaplan (2014)' a göre araştırmada kullanılan balların briks değerlerini $80 - 89,5$ arasında tespit etmişlerdir. Adı geçen araştırmacı balların üretildikleri şehre göre farklılıklar gösterebildiğini bildirmiştir. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği' ne göre hem salgı hem çiçek ballarında nem miktarının en fazla 20 olması gerektiği belirtilmiştir (TGK, 2020). Çalışmada ayranlara ilave edilen balların briks değerlerinin araştırmacıların bulgularına benzer olduğu gözlenmektedir.

3.3. Ayranların Kimyasal Özellikleri

Farklı floral kaynaklı balların ilavesi ile üretilen ayranlara ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de verilmiştir.

Ayran örneklerinde depolama süresi boyunca titrasyon asitlik derecesi (%laktik asit) sürekli artış göstermiştir. En düşük asitlik değeri depolamanın 1. günü $0,51$ olarak ayran örneklerinde (B, E, F ve G) tespit edilmiştir. En yüksek asitlik değeri A örneğinin 21. gününde $0,63$ olarak saptanmıştır. Örneklerin depolama süresince %laktik asit değerlerindeki değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Kontrol grubuna göre bal ilave edilen ayran örneklerinin %laktik asit değerlerinin bir miktar düşük olduğu görülmektedir. Anwar ve ark. (2021)'nin farklı oranlarda bal ilavesi ile üretimini yaptıkları kefirlerde ilave edilen bal oranı arttıkça %laktik asit oranının azaldığı bildirilmiştir. Ayrandaki laktik asit ile baldaki aktif karbonhidrat grupları/aktif serbest hidroksil grupları (glukoz ve fruktoz) reaksiyona girmektedir. Bu durum başka organik bileşiklerin oluşumuna (ester bileşikleri) sebep olmaktadır. Bu esterifikasyon reaksiyonu laktik asit değerinde azalmayla sonuçlanmaktadır (Anwar ve ark., 2021).

Ayranların kuru madde oranları, bal konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artış göstermektedir. En yüksek kuru madde oranları 20 konsantrasyonunda bal içeren örneklerde görülmektedir. Örneklerin depolama süresi boyunca kuru madde oranlarındaki değişimler istatistiksel bakımdan önemsiz bulunurken, örnekler arası farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Doğan (2011)' in farklı konsantrasyonlarda bal ilave ederek kefir ürettiği çalışmasında, kefir örneklerinin kuru madde oranlarının içerdiği bal miktarı ile doğru orantılı olarak arttığını rapor etmiştir. Bunun sebebini balın, çoğu şekerden oluşan yüksek miktarda toplam çözünür katı madde içermesinden dolayı olduğunu bildirmektedir.

Depolama süresi boyunca ayran numunelerinin yağ oranlarında herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Örnekler arası farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı saptanmıştır. Ayran örneklerinde en yüksek yağ oranı ($2,30$) kontrol grubu örneklerde görülürken en düşük yağ oranı ($2,00$) ise 20 (g/mL) bal içeren örneklerde bulunmuştur. İlave edilen bal konsantrasyonu arttıkça örneklerin %yağ oranının azaldığı gözlemlenmektedir. Örnekler ve zamanlar arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir. Abdel-Galeele ve ark. (2013)'nin farklı oranlarda

erik pulpu ilave ederek ürettikleri içilebilir ayranlarda, ballı ayran örneklerinde olduğu gibi yağ oranlarının depolama süresince değişmediği ve örnekler arası farkın olmadığı bildirilmiştir.

Tablo 1. Ayran örneklerinin depolama süresi boyunca kimyasal analiz sonuçları

Örnek ^(*)	Gün	Laktik Asit (%)	Kuru madde (%)	Yağ (%)	Serum Ayrılması (%)	Protein (%)
A	1	0,54±0,01 ^{aA**}	8,89±0,14 ^{aF}	2,30±0,05 ^A	1,51±0,22 ^{cA}	1,92±0,01 ^I
	10	0,61±0,01 ^{bA}	9,11±0,08 ^{aF}	2,30±0,10 ^A	2,51±0,22 ^{bA}	
	21	0,63±0,01 ^{cA}	8,89±0,10 ^{aF}	2,30±0,05 ^A	7,50±0,50 ^{aA}	1,99±0,01 ^G
B	1	0,51±0,01 ^{aB}	15,50±0,01 ^{aD}	2,20±0,10 ^B	1,85±0,37 ^{cB}	1,94±0,01 ^H
	10	0,56±0,01 ^{bB}	15,35±0,15 ^{aD}	2,20±0,10 ^B	2,85±0,37 ^{bB}	
	21	0,58±0,01 ^{cB}	15,08±0,11 ^{aD}	2,20±0,10 ^B	15,00±0,50 ^{aB}	2,05±0,01 ^E
C	1	0,52±0,01 ^{aB}	20,25±0,58 ^{aC}	2,00±0,10 ^B	2,00±0,01 ^{cB}	2,12±0,01 ^C
	10	0,55±0,01 ^{bB}	20,42±0,37 ^{aC}	2,00±0,10 ^B	4,00±0,01 ^{bB}	
	21	0,57±0,01 ^{cB}	20,24±0,46 ^{aC}	2,00±0,10 ^B	17,00±0,30 ^{aB}	2,12±0,01 ^C
D	1	0,52±0,01 ^{aB}	14,79±0,08 ^{aE}	2,20±0,10 ^B	1,60±0,20 ^{cB}	2,09±0,01 ^D
	10	0,55±0,01 ^{bB}	15,05±0,05 ^{aE}	2,20±0,10 ^B	3,60±0,10 ^{bB}	
	21	0,58±0,01 ^{cB}	14,84±0,16 ^{aE}	2,20±0,10 ^B	15,00±0,50 ^{aB}	2,01±0,01 ^F
E	1	0,51±0,01 ^{aB}	21,00±0,50 ^{aA}	2,00±0,05 ^B	1,96±0,55 ^{cB}	2,22±0,01 ^A
	10	0,55±0,01 ^{bB}	21,06±0,24 ^{aA}	2,00±0,10 ^B	4,96±0,15 ^{bB}	
	21	0,58±0,01 ^{cB}	20,97±0,39 ^{aA}	2,00±0,20 ^B	17,00±0,50 ^{aB}	2,16±0,01 ^B
F	1	0,51±0,01 ^{aB}	15,15±0,35 ^{aDE}	2,20±0,10 ^B	2,85±0,37 ^{cC}	1,95±0,01 ^H
	10	0,56±0,01 ^{bB}	15,05±0,35 ^{aDE}	2,20±0,10 ^B	3,91±0,37 ^{bC}	
	21	0,59±0,01 ^{cB}	15,08±0,61 ^{aDE}	2,20±0,10 ^B	15,00±0,50 ^{aC}	2,04±0,01 ^E
G	1	0,51±0,01 ^{aB}	20,60±0,30 ^{aB}	2,00±0,20 ^B	3,11±1,12 ^{cC}	2,11±0,01 ^{CD}
	10	0,56±0,01 ^{bB}	20,72±0,51 ^{aB}	2,00±0,10 ^B	5,91±1,12 ^{bC}	
	21	0,58±0,01 ^{cB}	20,62±0,45 ^{aB}	2,00±0,10 ^B	16,00±0,50 ^{aC}	2,13±0,01 ^C

*A; kontrol, B; %10 çiçek balı, C; %20 çiçek balı, D; %10 çam balı, E; %20 çam balı, F; %10 karışım (1:1), G; %20 karışım (1:1).

** Büyük harfler örnekler arası farkın, küçük harfler zamanlar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

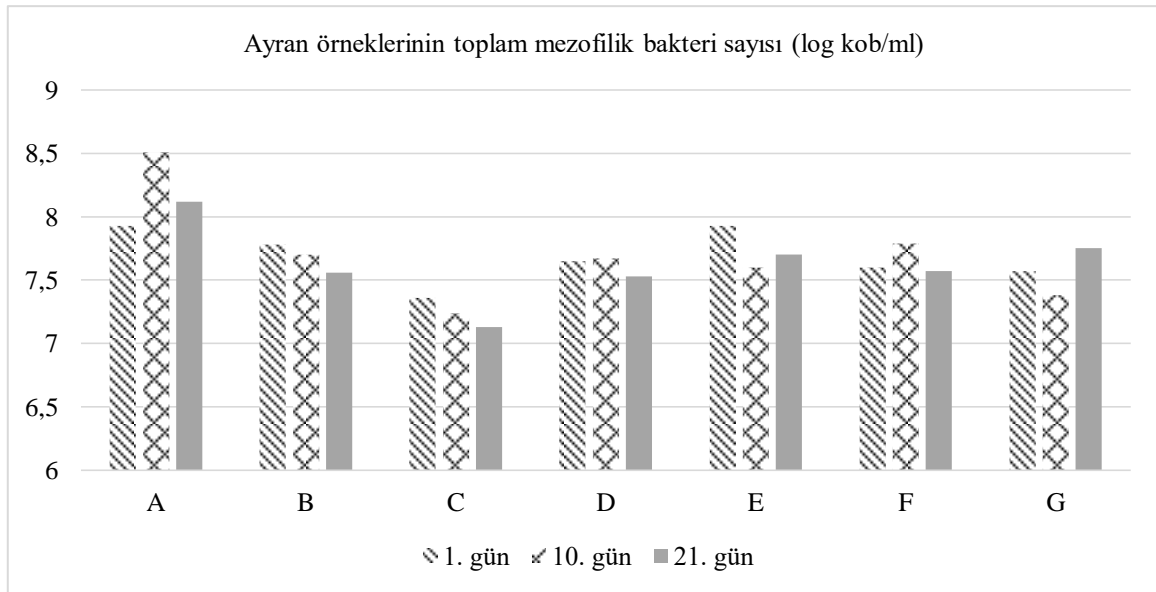
Ayranların %protein oranları depolamanın 1. ve 21. günlerinde tespit edilmiştir. Protein oranları incelendiğinde %bal oranı arttıkça ayranların %protein oranlarının da arttığı saptanmıştır. En düşük %protein oranı kontrol grubunun 1. gün örneğinde (%1,92) görülürken, en yüksek oran (%2,22) depolamanın 1. günü %20 çam balı içeren örnekte bulunmuştur. Örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (p<0,05). Chapagain ve ark. (2013)'ün yaptıkları çalışmada %protein oranını, sade yoğurt içeceğinde %1,92 tespit ederken %7,5 bal ve %15 muz püresi içeren örnekte ise %2,25 olarak rapor etmişlerdir. Yoğurt içeceklerinde eklenen bal ve meyvenin protein, karbonhidrat ve mineral içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Jadhav ve ark. (2016)'nın farklı oranlarda bal ilave ederek ürettikleri içilebilir yoğurtların %12 bal içeren örneğin protein oranının %2,76 olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan bir araştırmada farklı illerin farklı floradaki balların protein

oranları Muğla ili çam ballarının 247,03–1074,21 mg/kg kuru ağırlık, Manisa ili çam balının 840,97 mg/kg kuru ağırlık, Manisa ili çiçek balının 714,80–1431,87 mg/kg kuru ağırlık olarak tespit edilmiştir (Kaplan, 2014). Araştırmacıların açıkladığı şekilde bu çalışmada da %bal oranı arttıkça %protein arttığı gözlemlenmiştir.

Ayran örnekleri arasında en düşük serum miktarı 1,51 mL ile 1. gün kontrol grubu ayıranda, en yüksek serum 17 mL ile 21. gün %20 çiçek ballı ve çam ballı ayranlarda bulunmuştur. Ballı ayran örneklerine ait sonuçlara göre bal ilave edilmesinin, ayranlarda serum ayrılma miktarlarını arttırdığı görülmektedir. Ayrıca örneklerde ayrılan serum miktarı zamanla artmıştır. En yüksek serum ayrılması değerleri 21. günde tespit edilmiştir. Çam balı çiçek balına göre serum ayrılma miktarı üzerine daha az etkili olmuştur. Üç boyutlu protein ağları daha yoğun hale geldiğinde serum çekme kapasitesini yavaş yavaş kaybetmekte ve serumun proteinin ağ yapısından ayrılması artmaktadır (Bezerra ve ark., 2012; Machado ve ark., 2017). Özünlü (2005)' nün yaptığı çalışmada ayran örneklerinin depolama süresi boyunca serum ayrılması değerlerini 2,5-18,25 mL serum/100 mL arasında bulmuştur. Depolama süresi (14 gün) boyunca bulunan değerlerin arttığı da rapor edilmiştir. Paucean ve ark. (2011)'nin farklı oranlarda bal ilavesi yaptıkları kefir örneklerinde depolama süresince serum ayrılması değerlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ballı ayranlar üzerine yapılan serum ayrılması verileri araştırmacıların çalışmaları ile benzerlik göstermektedir.

3.4. Mikrobiyolojik analiz sonuçları

Ayran örneklerinin toplam mezofilik bakteri sayısı Şekil 1' de gösterilmiştir. Örneklerin toplam mezofilik bakteri sayıları 7,13 ile 8,51 log kob/mL arasında tespit edilmiştir. Zamanlar ve örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.



A; kontrol, B; %10 çiçek balı, C; %20 çiçek balı, D; %10 çam balı, E; %20 çam balı, F; %10 karışım (1:1), G; %20 karışım (1:1).

Şekil 1. Ayran örneklerinin toplam mezofilik bakteri sayısı

Mercan ve Akın (2017) yaptıkları çalışmada yoğurda ilave ettikleri çam balının toplam mezofilik bakteri sayısı üzerine etki etmediğini rapor etmişlerdir. Sert ve ark. (2010), çalışmalarında farklı konsantrasyonlarda bal ilave ettikleri yoğurtlarda toplam mezofilik bakteri sayısını 5,71–6,43 log kob/g olarak saptamışlardır. Araştırmacıların tespit ettikleri sonuçlara göre çalışmadaki bulguların bir miktar fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrandaki bakteri sayıları bal ve ayran sütünden gelmektedir. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı esas olarak vejetatif hücrelere göre spor formlardan oluşabilmektedir. Araştırmacılara göre baldaki aerobik canlı (viable) sayısı son üründe 4 log kob/g ile 5 log kob/g arasında bulunmaktadır. Balın çeşidi (çiğ, işlenmiş), tazeliği gibi faktörlere bağlı olarak baldaki aerobik canlı bakteri sayısı değişebilmektedir (Sert ve ark., 2010).

Ayran örneklerinde toplam koliform bakteri tespit edilmemiştir. Maya-küf sayılarına bakıldığında bütün örnekler için 1 log kob/mL' den az belirlenmiştir.

3.5. Duyusal analiz sonuçları

Ballı ayran örneklerinin depolama süresi boyunca duyusal özelliklerine ait sonuçlar Tablo 2' de gösterilmiştir. Ayranların görünüş özellikleri panelistler tarafından değerlendirildiğinde depolamanın 1. günü en yüksek puanı (7,50) kontrol grubu örneğinin aldığını, depolamanın sonunda ise %10 çiçek balı içeren ayranın en yüksek puanı (7,20) aldığı tespit edilmiştir. Görünüş özellikleri açısından örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın sonunda en yüksek yapı puanını, %10 karışım bal içeren ayran örneğinin aldığı tespit edilmiştir. Tat özelliği açısından panelistler tarafından en fazla beğenilen ayran örneğinin depolamanın 1. gününde %10 oranında çiçek balı içeren ayran örneği olduğu bulunmuştur. Örnekler arasındaki farkın tat özellikleri için istatistiksel olarak önemli olduğu da görülmüştür ($p<0,05$). Ballı ayranlar kendi aralarında incelendiğinde %10 bal ilave edilen örneklerin %20 bal ilave edilenlere göre koku olarak daha çok beğenildiği, çam balı ilave edilen örneğin ise çiçek balı ilave edilen örnekten daha yüksek puan aldığı anlaşılmaktadır. Ancak depolama boyunca örneklerin tamamının koku değerlendirmelerinde bir düşüş izlenmiştir. Bal ilave edilme düzeylerine göre %20 bal ilavesi yapılan örneklerin, depolama sonunda %10 bal ilave edilen örneklerden daha az kabul edilebilir olarak tespit edilmiştir. Örneklerin %10 seviyesindeki kabul edilebilirlikleri depolamanın başında ve sonunda istatistiksel olarak benzer bulunmuştur.

Tablo 2. Balı ayran örneklerinin depolama süresi boyunca duyuşal özellikleri

Örnek No	Gün	Görünüş	Yapı (Kıvam)	Tat	Koku	Genel Edilebilirlik	Kabul
A	1	7,50±1,10 ^{aA**}	8,03±0,55	6,33±0,95 ^{abAB}	6,20±1,60 ^{aABC}	6,90±2,18 ^{aA}	
	10	7,03±0,05 ^{aA}	6,33±0,75	6,23±1,05 ^{bAB}	5,90±0,70 ^{bABC}	6,43±1,65 ^{abA}	
	21	6,63±0,65 ^{aA}	5,40±1,60	5,50±2,50 ^{aAB}	5,13±2,55 ^{abABC}	6,00±1,00 ^{bA}	
B	1	7,30±0,10 ^{aA}	7,23±0,75	7,40±2,20 ^{aAB}	6,90±0,70 ^{abA}	6,90±0,10 ^{aA}	
	10	7,23±0,35 ^{aA}	6,20±1,60	6,73±0,05 ^{aAB}	6,63±0,15 ^{aA}	5,73±0,55 ^{abA}	
	21	7,20±0,40 ^{aA}	5,53±0,75	5,53±0,05 ^{bAB}	4,73±0,35 ^{bA}	4,90±0,30 ^{bA}	
C	1	6,90±0,90 ^{ab}	7,00±0,60	6,70±0,10 ^{abAB}	6,30±1,10 ^{abBC}	6,00±1,20 ^{abB}	
	10	6,53±0,25 ^{ab}	6,53±0,15	5,10±0,50 ^{abAB}	4,53±0,55 ^{bBC}	4,93±0,35 ^{ab}	
	21	5,80±1,20 ^{ab}	6,50±0,50	4,40±0,20 ^{bAB}	4,50±0,25 ^{abC}	3,33±0,75 ^{bB}	
D	1	7,23±0,15 ^{aAB}	7,60±0,30	7,13±1,65 ^{bA}	7,13±0,35 ^{aABC}	6,90±1,30 ^{bA}	
	10	6,43±1,05 ^{aAB}	7,13±0,15	6,73±0,35 ^{abA}	6,23±1,15 ^{bABC}	6,90±0,90 ^{aA}	
	21	6,10±0,10 ^{aAB}	6,23±1,05	5,83±0,65 ^{aA}	5,50±0,70 ^{abABC}	5,40±0,80 ^{abA}	
E	1	6,60±0,60 ^{ab}	7,50±1,30	6,13±2,45 ^{ab}	5,43±2,05 ^{abC}	5,13±0,85 ^{abB}	
	10	6,13±0,95 ^{ab}	6,80±0,80	4,73±0,55 ^{abB}	4,23±1,05 ^{bC}	4,56±0,40 ^{ab}	
	21	5,13±1,35 ^{ab}	6,20±0,80	4,13±1,35 ^{bB}	4,96±0,15 ^{aC}	4,23±1,25 ^{bB}	
F	1	7,33±0,25 ^{aA}	7,70±0,30	7,03±1,35 ^{aAB}	6,53±0,55 ^{aAB}	5,84±0,20 ^{abA}	
	10	7,13±0,35 ^{aA}	6,70±0,30	6,30±0,50 ^{abAB}	6,30±0,7 ^{abAB}	5,83±0,35 ^{bA}	
	21	6,90±0,10 ^{aA}	6,60±0,60	5,83±0,35 ^{bAB}	5,50±0,30 ^{bAB}	6,43±1,05 ^{aA}	
G	1	6,63±0,45 ^{ab}	7,10±0,30	5,50±1,5 ^{ab}	5,53±0,25 ^{aC}	5,03±0,55 ^{abB}	
	10	6,30±0,50 ^{ab}	6,70±0,60	5,40±0,40 ^{abB}	4,53±0,25 ^{bC}	4,80±0,20 ^{ab}	
	21	5,33±0,75 ^{ab}	6,53±0,95	4,30±0,30 ^{bB}	4,50±0,70 ^{abC}	4,30±0,50 ^{bB}	

* A; kontrol, B; %10 çiçek balı, C; %20 çiçek balı, D; %10 çam balı, E; %20 çam balı, F; %10 karışım (1:1), G; %20 karışım (1:1).

** Büyük harfler örnekler arası farkın, küçük harfler zamanlar arasındaki farkın önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

4. Sonuç

Ayranlara çiçek, çam ve iki balın karışımlarının %10 ve %20 oranında ilave edildiği bu çalışmada, ayranların mikrobiyolojik, kimyasal, duyuşal özellikleri depolama süresi (1., 10. ve 21. gün) boyunca değerlendirilmiştir. Ayran örneklerinde %toplam kuru madde, %yağ, %laktik asit ve %protein değerleri arasında fark önemli bulunurken, %tuz arasındaki fark örnekler arasında önemsiz tespit edilmiştir. Duyusal açıdan örnekler incelendiğinde genel kabul edilebilirlik özelliğine göre kontrol grubuna en yakın puanları %10 bal ilave edilen örnek almıştır.

Ayran kendine özgü asidik tuzlu karakterde bir üründür. Bu tada alternatif olarak besleyici değeri yüksek fonksiyonel özelliklere sahip bir ürün ilavesi ile tüketicilere özellikle çocuklara ayranın sevdirebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla ayranlara farklı floral kaynaklı bal en fazla %10 oranında ilave edilerek ayran özelliklerinin de geliştirilebileceği anlaşılmaktadır. İlave edilen bal ayranın özelliklerine olumlu yönde katkı sağlamıştır. Ayrıca ürün çeşitliliğinin sağlanması ve fonksiyonel

özelliğli yeni bir ürün üretilebilmesi açısından da ayranlara farklı bal ilavesinin mümkün olduğu özellikle bu anlamda çiçek balının daha çok tercih edildiği de bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 4609-YL1-16) teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makaleye birinci ve üçüncü yazarlar %40 oranlarında, ikinci yazar %20 oranında katkı sağlamışlardır.

Kaynakça

- Abdel-Galeele AA., Sulieman AM., Abd El-Wahed EM., Khalifa SA. Utilization of sebestan plum fruit nectar (*Cordia dichotoma* Forst) in the manufacture of flavoured nutraceutical yoghurt drink. *Zagazig Journal of Agricultural Research* 2013; 40: 1113-1119.
- Ahmed EAM. Production of functional drinking yoghurt supplemented with strawberry and berry fruits. *Journal of Food and Dairy Sciences* 2017; 8(7): 263-266.
- Akın MS., Yapık Ö., Akın MB. Adıyaman ilinde süt üretim çiftliklerinden ve toplayıcılardan sağlanan sütlerin bazı özellikleri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2016; 20(4): 253-265.
- Altay F., Karbancıoğlu-Güler F., Daskaya-Dikmen C., Heperkan D. A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: microbiota, fermentation process and quality characteristics. *International Journal of Food Microbiology* 2013; 167(1): 44-56.
- Anonim. Süt ve mamülleri analiz yöntemleri. Ankara: Türkiye Süt Endüstrisi Genel Müdürlüğü; 1990.
- Anonim. Merck gıda mikrobiyolojisi. Ankara: Orkim Limited Şirketi; 1998.
- Anwar APM., Maruddin F., Yuliati FN., Wangdi JT., Dagong MIA. The physicochemical properties of kefir using honey concentrations. *Canrea Journal: Food Technology, Nutrition, and Culinary Journal* 2021; 4(1): 8-16.
- AOAC. Official methods of analysis. 16th ed. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists; 1997.
- Bezerra MF., Souza DF., Correia RTP. Acidification kinetics, physicochemical properties and sensory attributes of yoghurts prepared from mixtures of goat and buffalo milks. *International Journal of Dairy Technology* 2012; 65(3): 437-443.

- Bielska P., Cais-Sokolińska D., Teichert J., Biegalski J., Kaczyński, ŁK., Chudy S. Effect of honeydew honey addition on the water activity and water holding capacity of kefir in the context of its sensory acceptability. *Scientific Reports* 2021; 11(1): 1-9.
- Celekli A., Alslibi ZA., Bozkurt H. Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Research* 2019; 44: 101710.
- Chapagain K., Karki TB., Ojha P. Development and quality assessment of functional probiotic yoghurt drink from sweet cream buttermilk. *Journal of Food Science and Technology Nepal* 2013; 8: 52-59.
- Çolakoglu H., Gürsoy O. Effect of lactic adjunct cultures on conjugated linoleic acid (CLA) concentration of yogurt drink. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2011; 9: 60-64.
- de Oliveira Coelho B., Fiorda-Mello F., de Melo Pereira GV., Thomaz-Soccol V., Rakshit SK., de Carvalho JC., Soccol CR. In vitro probiotic properties and DNA protection activity of yeast and lactic acid bacteria isolated from a honey-based kefir beverage. *Foods* 2019; 8(10): 485.
- Doğan M. Rheological behaviour and physicochemical properties of kefir with honey. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 2011; 6(3): 327-332.
- Düzgüneş O., Kesici T., Kavuncu O., Gürbüz F. Araştırma ve deneme metotları. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 1987.
- Gülmez M., Güven A., Sezer Ç., Duman B. Evaluation of microbiological and chemical quality of ayran samples marketed in Kars and Ankara cities in Turkey. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2003; 9(1): 49-52.
- Ismail E., Shenana M., Elalfy M., Essawy E., Abdelhahim S. Novel probiotic adjunct cultures for the production of fruit-flavoured drinkable yoghurt. *Egyptian Journal of Food Science* 2020; 48(1): 213-228.
- Jadhav S., Atkare V., Darade R., Khupse S., Deshmukh S. Utilization of honey as sweetener for the preparation of yoghurt drink. *Internattional Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences* 2016; 4(9): 75-80.
- Jafarpour D., Amirzadeh A., Maleki M., Mahmoudi MR. Comparison of physicochemical properties and general acceptance of flavored drinking yogurt containing date and fig syrups. *Foods and Raw materials* 2017; 5(2): 36-43.
- Kaplan HB. Ege bölgesinde balların kimyasal özellikleri. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:75, Denizli, Türkiye, 2014.
- Kök-Taş T. Çeşitli yağ ikame maddelerinin ayran kalite kriterleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:91, Isparta, Türkiye, 2005.

- Machado TADG., de Oliveira MEG., Campos MIF., de Assis POA., de Souza EL., Madruga MS., Pacheco MTB., Pintado MME, do Egypto RDCR. Impact of honey on quality characteristics of goat yogurt containing probiotic *Lactobacillus acidophilus*. *Lwt* 2017; 80: 221-229.
- Mercan E., Akın N. Effect of different levels of pine honey addition on physicochemical, microbiological and sensory properties of set-type yoghurt. *International Journal of Dairy Technology* 2017; 70(2): 245-252.
- Özçelik S. Gıda mikrobiyolojisi laboratuvar kılavuzu. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları; 1992.
- Özünü TB. Ayran kalitesine etkili bazı parametreler üzerine araştırmalar. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:127, Ankara, Türkiye, 2005.
- Özünü TB., Koçak C., Aydemir S. Ayran stabilitesini etkileyen faktörler. Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayın; 2007.
- Paucean A., Mudura E., Jimborean MA., Man S. The influence of honey addition on microbiological, physicochemical and sensory characteristics of a kefir-type product during shelf-life. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture* 2011; 68(2).
- Perna A., Simonetti A., Gambacorta E. Phenolic content and antioxidant activity of donkey milk kefir fortified with sulla honey and rosemary essential oil during refrigerated storage. *International Journal of Dairy Technology* 2019; 72(1): 74-81.
- Polat S. Farklı starter kültür kullanılarak üretilen ayranların kalite özellikleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:51, Adana, Türkiye, 2009.
- Polat S., Güzeler N. Farklı starter kültür kullanılarak üretilen ayranların kalite özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2010; 22(2): 220-228.
- Sert D., Akin N., Dertli E. Effects of sunflower honey on the physicochemical, microbiological and sensory characteristics in set type yoghurt during refrigerated storage. *International Journal of Dairy Technology* 2011; 64(1): 99-107.
- Sun-Waterhouse D., Zhou J., Wadhwa SS. Effects of adding apple polyphenols before and after fermentation on the properties of drinking yoghurt. *Food and Bioprocess Technology* 2012; 5(7): 2674-2686.
- TGK, Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve İçme Sütü Tebliği. 2006. <https://docplayer.biz.tr/5978120-Cig-sut-ve-isil-islem-gormus-icme-sutleri-tebligi.html>. Erişim Tarihi: 23.03.2022.
- TGK, Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği. 2020. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/04/20200422-13.htm>. Erişim Tarihi: 27.12.2021.

Arsuz Ovası Topraklarının Tuzluluk ile İlgili Özelliklerinin İncelenmesi

Ahmet BENİCE¹, Necat AĞCA^{2*}

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 31040 Antakya, Hatay

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilemi ve Bitki Besleme Bölümü, 31040 Antakya, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0001-6473-8440>

²<https://orcid.org/0000-0003-4864-844X>

*Sorumlu yazar e mail: necagca@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.02.2022

Kabul tarihi: 19.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Arsuz ovası

Topraklarda tuzluluk ve alkalilik

Değişebilir sodyum oranı ve

yüzdesi (ESR ve ESP)

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı Arsuz Ovası topraklarının tuzluluk ve alkalilik ile ilgili özelliklerinin belirlenmesi ve topraklarda değişebilir sodyum oranı (ESR) ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) arasındaki ilişkilerin incelenmesidir. Çalışmada Arsuz ovası topraklarının 0-30 cm derinliğinden 37 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde; pH, elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum (Na) ve potasyum (K), katyon değişim kapasitesi (KDK), eriyebilir katyonlar (Na, K, Ca ve Mg) ve anyonlar (CO₃, HCO₃, Cl ve SO₄), bünye ve kireç içerikleri yaygın olan yöntemlere göre belirlenmiştir. Yine, değişebilir Na ve katyon değişim kapasitesi değerleri kullanılarak değişebilir sodyum oranı (ESR) ile değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri, eriyebilir Na, Ca ve Mg değerleri kullanılarak ise SAR değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, değişebilir sodyum oranı (ESR) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) arasındaki ilişkiler doğrusal regresyon analizleri ile araştırılmıştır. Ayrıca bu özellikler ile diğer toprak özellikleri arasındaki ilişkiler ise korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. Toprakların pH değerleri 7,51 ile 8,19, EC değerleri 0,500–3,156 dS m⁻¹ arasında değişmiştir. Toprakların kireç içerikleri %1,01 ile % 23,02, KDK değerleri 15,15 – 38,17 me/100g, değişebilir sodyum (Na) içerikleri 0,15 ile 4,60 me/100g ve K içerikleri 0,19 ile 1,74 me/100g, Ca+Mg içerikleri 14,68 ile 37,09 me/100 g, ESP değerleri % 0,50 ile 18,03 ve ESR değerleri ise 0,005 ile 0,220 arasında değişmiştir. Toprakların ortalama kil, kum ve silt içerikleri sırasıyla % 42,6, 24,7, 32,6 olarak belirlenmiştir. Toprakların ESR ile SAR değerleri arasında (r²= 0,677) ve ESP ile SAR değerleri arasında (r²= 0,702) istatistiksel açıdan 0,01 düzeyinde önemli düzeyde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Topraklardaki ESR-SAR ilişkisinin Gapon katsayısı (Kg) 0,01457 olarak belirlenmiştir.

Investigation of Properties Related Salinity in Arsuz Plain Soils

Research Article

Article History:

Received: 18.02.2022

Accepted: 19.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Arsuz plain

Salinity and alkalinity in soils

Exchangeable sodium ratio and

percentage (ESR and ESP)

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the salinity and alkalinity properties of Arsuz Plain soils and to examine the relationships between exchangeable sodium ratio (ESR) and sodium adsorption ratio (SAR) in the soils. In the study, 37 degraded soil samples were taken from 0-30 cm depth of Arsuz plain. In the soil samples; pH, electrical conductivity (EC), exchangeable sodium (Na) and potassium (K), cation exchange capacity (KDK), soluble cations (Na, K, Ca and Mg) and anions (CO₃, HCO₃, Cl and SO₄), texture and lime contents were determined according to common methods. Again, exchangeable sodium ratio (ESR) and exchangeable sodium percentage

Sodium adsorption ratio (SAR)

(ESP) values were calculated using exchangeable sodium (Na) and cation exchange capacity values, and SAR values were calculated using soluble Na, Ca and Mg values. In addition, the relationships between exchangeable sodium ratio (ESR) and exchangeable sodium percentage (ESP) and sodium adsorption ratio (SAR) were investigated by linear regression analysis. In addition, the relations between these properties and other soil properties were determined by correlation analysis. The pH values of the soils varied between 7,51 and 8,19 EC values between 0,500 and 0,315 dS m⁻¹. Lime content of the soils is 1,01% to 23,02%, KDK values are 15,15 – 38,17 me/100 g, exchangeable sodium (Na) contents are 0,15 to 4,60 me/100 g, K contents are 0,19 to 1,74 me/100g, Ca+ Mg contents are 14,68 to 37,09 me/100 g, ESP values varied between 0,50 and 18,03% and ESR values between 0,005 and 0,220. The average clay, sand and silt contents of the soils were determined as 42,6%, 24,7 and 32,6%, respectively. Statistically significant positive correlations were determined at 0,01 level between ESR and SAR values of soils ($r^2= 0,677$) and between ESP and SAR values ($r^2= 0,702$). The Gapon coefficient (Kg) of the ESR-SAR relationship in soils was determined as 0,01457.

To Cite: Benice A., Ağca N. Arsu Ovası Topraklarının Tuzluluk ile İlgili Özelliklerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1419-1437.

1.Giriş

Tarımsal üretimin temel öğelerinden biri olan topraklar çoğaltılamayan doğal kaynaklardır. Nüfusun sürekli artmasına karşın, bu nüfusu besleyecek olan kültür bitkilerinin hemen hemen tek beslenme ve gelişme ortamı olan toprakları arttırma olanağı kalmamıştır. Bu nedenle, bir yandan topraklardan en fazla ürün elde edilme yolları araştırılırken diğer yandan onların korunması, tarımsal üretimin devamlılığı açısından, zorunluluk olarak görülmektedir.

Kuru tarım yapılan alanlarda, sulu tarım yapılması, verimde önemli sayılabilecek artışlar sağlamaktadır. Ancak, sulu tarım, tarımsal üretim miktarını önemli ölçüde arttırmasına karşılık, beraberinde bir takım sorunları da getirebilmektedir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, kuru tarım alanlarının sulamaya açılması sonucu suların içerdiği iyonların uygun bir drenaj sistemi ile profilden uzaklaştırılmayan bir bölümü, toprakta birikmekte ve bu birikim, bir takım yanlış uygulamalar sonucu hızlandırılırsa, toprakta özellikle sulamaya bağlı olarak tuzluluk ve bazı durumlarda da alkalilik veya sodiklik sorunlarını ortaya çıkarmaktadır.

Tuzluluk ve/veya alkalilik nedeniyle oluşabilecek toprak bozulması, birçok kurak ve yarı kurak bölgelerde, tarımsal üretimin devamlılığı üzerine önemli olumsuz etkileri olan bir çevresel sorundur (Suarez, 2001; Quadir ve ark., 2007).

Topraklardaki tuzun orijini ve direk kaynağı; topraklarda ve kayalarda bulunan birincil minerallerdir (Richards, 1954). Diğer kaynakları ise mineral ayrışması, ikincil depozitler ve sulama suları olarak sıralanabilmektedir (James ve ark., 1982). Topraklarda bulunan çözünebilir tuzlar en fazla sodyum, kalsiyum ve magnezyum katyonları ile klorür ve sülfat anyonlarından oluşmaktadır. Topraklarda tuzluluk ve alkalilik sorunu daha çok kurak ve yarı kurak iklime sahip olan bölge topraklarında görülmektedir (Richards, 1954).

Toprak tuzluluğu; toprak özelliklerinin bozulmasına ve bitkilerde verim kaybına neden olan önemli bir özellik olup, tuzdan etkilenmiş toprakların alanı dünyadaki toplam sulanabilir alanların % 20'sine denk

gelmektedir (Ghassemi ve ark., 1995). Yüzden fazla ülkede yaklaşık 1,5 milyar ha toplam işlenebilir arazi, tuzluluk ve alkalilik nedeniyle bozunmuş bulunmaktadır. Bu oran ülkemizde yaklaşık 1,5 milyon ha civarındadır (Dinç ve ark., 1999).

Alkalilik, toprak tuzlulaşmanın ikinci aşaması olup, topraklardaki tuzluluk sorunları arasında önemli bir yere sahiptir. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) 15'in üzerinde olan topraklar sodik olarak adlandırılmaktadır. Bu topraklarda pH 8,5 ile 12,0 arasında olup, bitki yetiştiriciliği için uygun değildir (Rengasamy ve Churchman, 1999).

Sodikleşme, topraklardaki katyon değişim komplekslerinin zamanla sodyumla doymasüdür. Alkalleşme ise pH'nın 'alkali' değere yükseldiğini belirtmek için kullanılmaktadır. Ancak, yüksek sodyum doygunluğu yüksek pH ile birlikte bulunmak zorunda değildir. Bazı sodik topraklar Na^+ iyonları çözeltide NaCl ve Na_2SO_4 gibi nötr tuzlar şeklinde bulunması nedeniyle, nötral hatta bazıları asit reaksiyon bile göstermesi, toprak çözeltisindeki karbonat ve bikarbonat iyonlarının konsantrasyonlarının Ca ve Mg iyonlarının konsantrasyonlarına oranla yüksek olması nedeniyle (Kamphorst ve Bolt, 1978).

Sodiklik ve alkalilik toprak strüktürünün bozulmasına, topraklarda gözeneklilik ve geçirgenliğin azalmasına neden olur. Yüksek derecede alkalilik sorunu olan topraklar, yüksek sodyum ve yüksek pH nedeniyle genellikle bitki köklerinde sorunlara neden olduğu için, bu tip topraklar birçok bitkinin yetişmesine uygun değildir (Alharbi, 2015; Rozema ve Flowers, 2008).

Topraklarda sodyum (Na) konsantrasyonunun artması kil parçacıkları ve organik maddenin dispersiyonuna neden olmaktadır. Bu durum, topraklarda yüzey kabuğu oluşmasına ve daha düşük hidrolik iletkenliğe neden olur (Quadir ve Schubert, 2002).

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) sulama sularının kalitesinin belirlenmesi amacıyla ortaya konulan bir kavramdır. SAR değeri yüksek olan sular alkalilik açısından tehlikelidir. Ama Sulama suyu ancak toprağa uygulandığında SAR değeri önem kazanmakta, sulama suyu ile toprak çözeltisi arasında belirli bir denge oluştuğunda toprak çözeltisinin SAR değerinden söz edilebilmektedir. Toprak çözeltisinin SAR değerinin yüksek olması, eriyebilir Na içeriğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi, çözeltideki konsantrasyonu fazla olan bir katyon toprağın değişim komplekslerindeki diğer katyonlarla kolaylıkla yer değiştirebilmektedir. Bu nedenle, çözelti fazında sodyum iyonu fazla oranda bulunduğu, değişim komplekslerindeki kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) ile kolaylıkla yer değiştirerek, değişebilir Na'un artmasına, değişebilir Na'un yüksek olması ise değişebilir sodyum oranı (ESR) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)'nin yüksek olmasına neden olmaktadır.

Sodyum adsorpsiyon oranı olarak bilinen SAR ile değişebilir sodyum oranı olarak bilinen ESR arasındaki ilişkinin bilinmesi pratikte önemli ipuçları ve kolaylıklar sağlamaktadır. Anılan ilişki saptanabilirse, toprakların sodikleşme tehlikesi yorumlanırken sadece SAR değerine bakmak yeterli olacaktır. Ayrıca ESR'nin belirlenmesi için zaman ve kimyasal madde harcamaya gerek kalmayacaktır. Çünkü topraklardaki değişebilir ve çözünebilir katyonlar arasında belirli bir denge vardır ve toprak çözeltisinin katyon bileşiminden değişebilir katyonların oranının hesaplanması

olasıdır. Korelasyon analizi, toprakların deneysel yollarla elde edilen ESR ve SAR değerleri arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir (Richards, 1954; Harron ve ark.,1983). Ayrıca, ESP veya ESR) - SAR ilişkisinin katsayısı toprakların alkalileşme eğiliminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Ağca ve Doğan (2000) tarafından yapılan çalışmada Amik ovası topraklarında tuzluluk ve alkaliliğin boyutları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, çalışma alanı topraklarının tamamında alkalilik ve önemli bir kısmında ise tuzluluk sorunu olmadığı belirlenmiştir. Tuzluluk sorunu olan toprakların tamamının ise hafif tuzlu topraklar sınıfına girdiği saptanmıştır. Toprakların tuzlulukla ilgili özellikleri ile diğer özellikleri arasında önemli korelasyonlar belirlenmiştir.

Bu çalışmada Arsuz Ovası topraklarının tuzluluk ve alkalilik ile ilgili özellikleri incelenmiştir. Ayrıca toprakların değişebilir Sodyum Oranı (ESR) ile Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) arasındaki ilişkiler ve toprakların alkalileşme eğilimi belirlenmiştir. Böylelikle ileride ortaya çıkabilecek alkalilik sorunlarının önlenmesi için şimdiden tedbir alınması gereken alanlar ortaya konulmuştur. Ayrıca, topraklarda ESR ve SAR değerlerinden biri belirlendiği takdirde diğer değer, ESR-SAR ilişkisi yardımı ile analiz yapılmadan belirlenmiş olacaktır. Böylece analizlerde harcanan emek, zaman ve paradan tasarruf yapılması sağlanmış olacaktır.

2. Materyal ve Metot

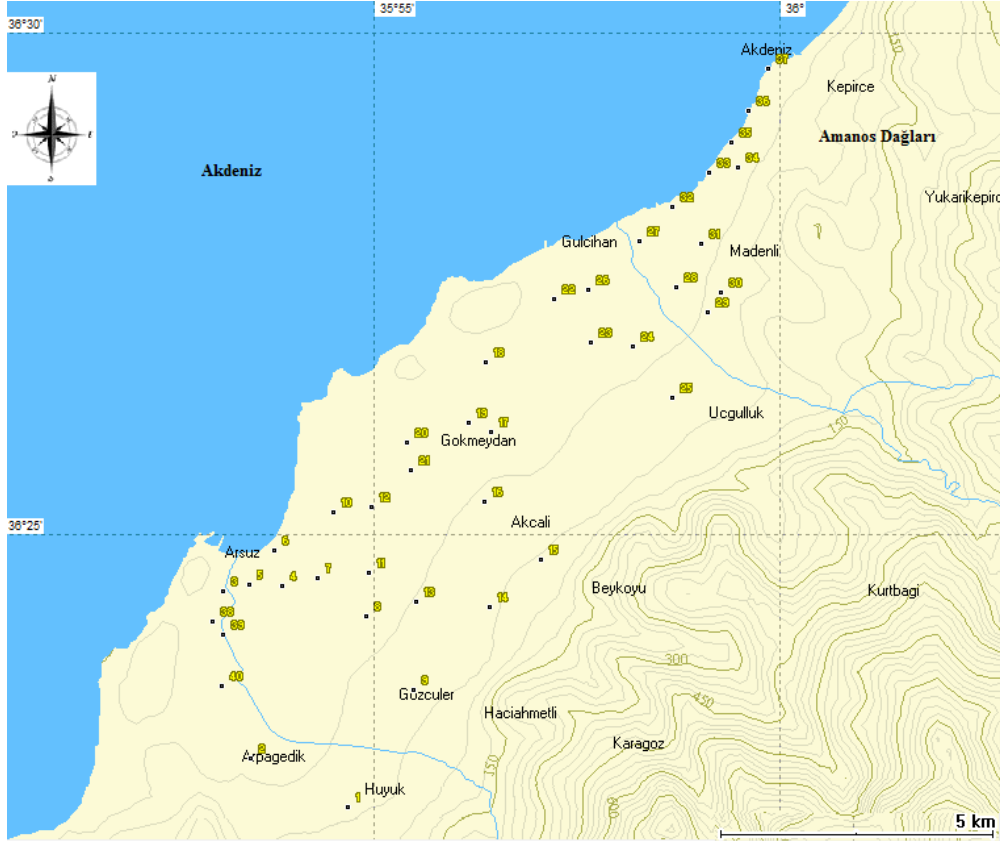
2.1. Materyal

Yaklaşık 4500 hektarlık bir alan kaplayan Arsuz ovası, Hatay ili Arsuz ilçesi sınırları içinde yer almaktadır (36°29'42.22" K ile 36°1'8.71"D ve 36°23'37.67"K ile 35°52'10.57" D) (Şekil 1). Ovanın batısında Akdeniz, doğusunda Amanos dağları, kuzeyinde İskenderun, güneyinde ise Samandağ ilçesi yer almaktadır (Anonim, 2016).

Alan, yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Alanda ortalama yıllık yağış 1121,6 mm, ortalama sıcaklık ise 18,3 °C'dir. En fazla yağış Ocak, en az yağış ise Haziran ayında kaydedilmiştir. Hatay'da ortalama en yüksek sıcaklık 31,9 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık ise 4,6 °C ile Ocak ayında kaydedilmiştir (Anonim, 2019).

Arsuz ovasının hemen hemen tamamında kültürel tarım yapılmaktadır. Ovada en fazla yetiştirilen ürünler; maydanoz, buğday, zeytin, limon ve kayısı, narenciye, nar, çilek, şeftali ve sebzedir (Anonim, 2017).

Bu çalışmada Arsuz ovası topraklarında, ovayı temsil edebilecek şekilde toplam 37 farklı noktadan ve 0-30 cm derinliğinden toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 1). Ayrıca, toprak örneklerinin alındığı noktaların UTM sistemine göre coğrafi koordinatları GPS aleti ile belirlenmiştir (Tablo 1).



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu ve toprak örneklerinin alındığı noktalar

2.2. Metot

Alınan toprak örnekleri plastik kurutma tavalarında kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklerinde; pH, elektriksel iletkenlik (EC), değişebilir sodyum (Na, ve potasyum (K), kation değişim kapasitesi (KDK), eriyebilir katyonlar (Na, K, Ca ve Mg) ve anyonlar (CO_3 , HCO_3 , Cl ve SO_4), kireç ve bünye (tane irilik dağılımı) analizleri yapılmıştır.

Topraklarda pH, saturasyon çamurunda ölçülmüştür (Jackson, 1964). Elektriksel iletkenlik (EC) saturasyon ekstraktında EC-metre ile kation değişim kapasitesi (KDK), 1 N sodyum asetat ekstraksiyon yöntemi, değişebilir sodyum ve potasyum analizleri 1 N amonyum asetat ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmiştir. Değişebilir Ca+Mg içerikleri, toprakların çoğunluğunda kireç içeriğinin fazla olması nedeniyle, KDK değerlerinden değişebilir Na ve K değerlerinin çıkartılması ile hesaplanmıştır (Richards, 1954). Kireç tayini, Schibler kalsimetre yöntemi ile yapılmış (Allison ve Moode, 1965), bünye ise hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Bouyoucos 1951).

Değişebilir sodyum ve kation değişim kapasitesi değerleri kullanılarak değişebilir sodyum oranı (ESR) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), eriyebilir Na, Ca ve Mg değerleri kullanılarak ise Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Örnek noktalarının UTM sistemine göre koordinatları (36 S)

Örnek no	Doğu	Kuzey	Örnek no	Doğu	Kuzey
1	760834	4029344	20	768119	4041851
2	758610	4031182	21	765322	4039180
3	762118	4031778	22	763531	4037844
4	761053	4034027	23	760537	4035944
5	760702	4034670	24	758433	4032176
6	761147	4035159	25	761197	4029087
7	762080	4034420	26	761933	4029981
8	763681	4033858	27	761200	4030808
9	764951	4033234	28	763093	4031702
10	762960	4035424	29	762182	4032927
11	7622424	4035997	30	763255	4033094
12	763277	4037135	31	764098	4033269
13	764937	4038397	32	764906	4035053
14	765446	4037768	33	765587	4036130
15	767165	4036602	34	766099	4036784
16	766227	4038350	35	767703	4038389
17	767095	4038089	36	767618	4039275
18	767833	4040300	37	766988	4040185
19	767790	4041395			

$$ESR = \frac{Na_d}{(KDK - Na_d)} \quad (1)$$

$$ESP = \frac{Na}{KDK} \cdot 100 \quad (2)$$

$$SAR = \left[\frac{Na_e}{[(Ca_e + Mg_e)^{1/2}]} \right] \quad (3)$$

Burada; iyonların konsantrasyon birimi me L⁻¹ 'dir (Richards, 1954).

Yukarıdaki bağıntının yanı sıra ESP, ESR değeri kullanılarak aşağıdaki matematiksel ilişki ile de hesaplanmaktadır (Bower, 1959).

$$ESP = (ESR \times 100) / 1 + ESR \quad (4)$$

Sonra tüm toprak özellikleri arasında korelasyon analizleri ve bu özellikler için tanımlayıcı istatistik analizler (ortalama, en yüksek, en düşük, vb.) yapılmıştır. Ayrıca değişebilir sodyum oranı (ESR) ve Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) arasındaki ilişkiler doğrusal regresyon analizleri ile araştırılmıştır. Tüm istatistiksel analizlerde Windows uyumlu SPSS 19 istatistik paket programı kullanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Toprakların Temel Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Araştırma alanı topraklarının temel fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda toprakların pH değerleri 7,51 (33 nolu örnek) ile 8,19 (31 nolu örnek) arasında değiştiği belirlenmiştir. pH, toprakların en önemli kimyasal parametrelerinden biridir. Eyüpoğlu (1999) toprakların reaksiyonunu belirlemek için pH aralıklarını; <4,5 kuvvetli asidik, 4,5-5,5 orta asidik, 5,5-6,5 hafif asidik, 6,5-7,5 nötr, 7,5-8,5 hafif bazik, >8.5 kuvvetli bazik olarak sınıflandırmıştır. Bu sonuçlara göre araştırma alanı topraklarının tamamı bazik karakterlidir. Budak (2012) Niğde İli Bor İlçesi Kızılca Kasabasına 1 km güneyinde yaptığı çalışmada, bu çalışmadaki sonuçlara benzer pH değerleri belirlenmiştir (pH = 7,87 – 8,21). Ancak, Doğan ve ark. (2020) tarafından Arsu ovasında yapılan diğer bir çalışmada pH değerleri daha yüksek bulunmuştur. Bu durum büyük olasılıkla, pH ölçme yöntemlerinin farklılığından ve araştırmaların farklı zamanda yapılmasından kaynaklanmıştır.

Toprakların EC değerleri 0,500 (23 nolu örnek) – 0,316 dS m⁻¹ (5 nolu örnek) arasında değişmiştir. Topraklarda herhangi bir tuzluluk sorunu görülmemektedir. Doğan ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise aynı alanın EC değerleri 0,181- 2,990 dS m⁻¹ arasında bulunmuştur. EC değerleri arasındaki bu küçük farklılık da büyük olasılıkla, ölçme zamanlarının farklı olmasından kaynaklanmıştır.

Toprakların kireç içerikleri %1,01 (24 nolu örnek) ile % 23,02 (30 nolu örnek) arasında değişmiştir. Gedikoğlu (1990) toprakları kireç içeriklerine göre; <%1 az kireçli, % 1-5 kireçli, % 5-15 orta kireçli, %15-25 fazla kireçli ve >%25 çok fazla kireçli sınıflarına ayırmıştır. Bu sınıflamaya göre araştırma alanı toprakları kireçli ve çok kireçli sınıflarına girmektedir.

KDK değerleri 15,15 (27 nolu örnek) – 38,17 me /100g (26 nolu örnek), arasında değişmiştir. Toprakların ortalama kil, kum ve silt içerikleri sırasıyla % 42,6, 24,7, 32,6 olarak belirlenmiştir. En yüksek kil içeriği (%69,9) 13 numaralı örnekte, en yüksek kum içeriği (% 64,4) 27 nolu örnekte, en yüksek silt içeriği (%46,3) ise 34 nolu örnekte belirlenmiştir. Toprak örneklerinin 22 tanesi kil, 15 tanesi ise tın bünyelidir. Bu sonuçlar toprakların yarıdan fazlasının ince bünyeli olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Toprakların temel fiziksel ve kimyasal özellikleri

Örnek No	pH	EC (dSm ⁻¹)	Kireç (%)	KDK (me/100 g)	Tane irilik dağılımı (%)			Bünye sınıfı
					Kum	Silt	Kil	
1	7,97	0,854	3,42	26,09				SCL
2	8,04	0,622	4,51	23,50	55,6	20,9	23,5	SCL
3	7,77	0,939	19,91	32,30	53,6	19,1	27,3	C
4	7,96	1,171	16,95	27,19	11,5	37,3	51,2	C
5	7,51	3,156	19,13	24,64	15,0	39,1	45,9	C
6	8,16	0,894	17,42	35,50	19,5	39,4	41,1	C
7	7,84	0,956	17,42	22,97	16,1	29,6	54,3	C
8	7,96	0,975	17,73	21,29	22,9	39,0	38,1	CL
9	7,98	1,170	11,20	32,54	40,4	29,0	30,6	CL
10	8,18	0,620	10,50	32,71	25,8	27,7	46,5	C
11	7,78	0,873	12,37	27,39	35,2	24,1	40,7	C
12	7,97	1,857	16,41	27,84	31,3	32,1	36,6	CL
13	8,10	1,092	13,84	31,44	7,7	35,7	56,6	C
14	7,68	0,560	15,09	36,62	3,6	26,5	69,9	C
15	7,99	0,652	20,53	22,80	10,5	30,3	59,2	C
16	8,17	0,875	14,93	30,02	14,6	44,9	40,5	SiC
17	7,82	1,208	18,28	32,82	23,1	31,2	45,7	C
18	7,83	1,393	16,10	32,63	7,0	38,7	54,3	C
19	7,85	1,322	18,20	31,29	21,4	39,7	38,9	CL
20	8,01	1,143	19,29	25,12	11,8	41,9	46,3	SiC
21	7,78	0,805	12,91	32,40	24,1	42,1	33,8	CL
22	7,86	1,398	4,59	23,38	18,5	27,2	54,3	C
23	7,71	0,500	4,74	34,71	35,5	20,2	44,3	C)
24	7,98	0,891	1,01	34,12	30,8	20,6	48,6	C
25	7,73	1,670	16,41	33,06	62,5	17,5	20,0	SC
26	7,76	1,118	16,49	38,17	28,5	25,9	45,6	C
27	8,10	0,788	8,63	15,15	16,7	30,2	53,1	C
28	7,96	0,755	16,33	30,57	64,4	19,9	15,7	SL
29	7,87	1,142	18,35	27,23	23,7	34,1	42,2	C
30	8,13	0,956	23,02	22,33	27,8	36,2	36,0	CL
31	8,19	1,135	16,88	26,47	21,8	40,1	38,1	CL
32	7,95	0,922	21,70	26,27	25,8	37,2	37,0	CL
33	7,51	0,854	15,24	21,95	21,8	40,1	38,1	CL
34	8,19	0,732	18,90	23,86	22,2	38,1	39,7	CL
35	7,81	0,585	10,89	35,24	8,0	46,3	45,7	SiC
36	7,67	1,099	18,04	24,80	33,8	28,2	38,0	CL
37	7,88	1,020	15,09	34,83	13,6	43,5	42,9	SiC
ED	7,51	0,500	1,01	15,15	7,6	34,9	57,5	C
EY	8,19	3,156	23,02	38,17	3,6	17,5	15,7	
Ort.	7,90	1,046	14,66	28,68	64,4	46,3	69,9	
SS	0,17	0,463	5,39	5,30	24,7	32,7	42,6	
VK	2,15	44,25	36,77	18,48	15,1	8,1	11,1	

ED: En düşük, EY: En yüksek, Ort.: Ortalama, SS: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), SCL: Kumlu killi tın; CL: Killi tın, SiC: Siltli kil, C: Kil, SCL: Kumlu killi tın, SL: Kumlu tın,

Varyasyon katsayısı (VK), toprak özelliklerinin değişkenliğini tanımlamak için diğer parametrelere göre en ayırt edici faktördür (Zhang ve ark., 2007). Parametreler arasında en düşük varyasyon katsayısı (VK) pH değerlerinde (% 2,15) olup, bunu KDK (% 18,48) değerleri izlemiştir. En yüksek varyasyon katsayısı ise kum içerikleri (% 61,10) ve EC değerlerinde (% 44,25) değerlerinde belirlenmiştir (Tablo 2). Budak (2012) tarafından yapılan benzer çalışmada da en düşük VK pH

değerlerinde belirlenmiştir. Genellikle varyasyon katsayısı değerleri % 10'dan düşük ise değişkenlikleri düşük, %10-100 arasında ise orta, % 100'den büyük ise yüksek olarak tanımlanmaktadır (Zhou ve ark., 2011). Buna göre, pH değerleri düşük, diğer parametreler ise orta düzeyde değişkenliğe sahiptir. Düşük varyasyon katsayısı (VK) değerleri toprak parametrelerinin çalışma alanında homojen dağıldığını belirtirken, orta VK değerleri ise bu parametrelerin biraz daha heterojen dağıldığını göstermektedir. Toprak tane irilik dağılımlarının varyasyon katsayılarının yüksek olmadığı belirlenmiştir. Ancak, her üç parametrenin de varyasyon katsayıları orta düzeyde oldukları için, bunların çalışma alanındaki dağılımları da orta düzeyde homojendir.

3.2. Toprakların Değişebilir ve Suda Eriyebilir Katyon ve Anyon İçerikleri

Araştırma alanı topraklarının değişebilir katyonlar ve eriyebilir katyon ve anyon içerikleri ile ESR ve SAR değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Toprakların değişebilir Na içerikleri 0,15 (27 nolu örnek) ile 4,60 me/100g (19 nolu örnek), K içerikleri 0,19 (1 nolu örnek) ile 1,74 me/100g (23 nolu örnek), ESP değerleri 0,50 (26 nolu örnek) ile 18,03 (5 nolu örnek) ve ESR değerleri ise 0,005 (26 nolu örnek) ile 0,220 (5 nolu örnek) arasında değişmiştir (Tablo 3). Budak (2012) tarafından Niğde Bor'da yapılan çalışmada, alanın büyük bir kısmında sodiklik göstergesi olan ESP ve SAR değerlerinin alanın hemen hemen tamamında oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Toprakların Ca+Mg içerikleri 14,80 (27 nolu örnek) ile 37,09 me/100 g (26 nolu örnek) arasında değişmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, kireç içeriği yüksek olan topraklarda, kireç içinde bulunan kalsiyum ve magnezyumun çözünmesi nedeniyle, ölçülen Ca ve Mg içeriklerinin gerçek anlamda değişebilir Ca ve Mg değerlerinden çok fazla yüksek olduğu görülmektedir. Nitekim Budak (2012) yaptığı çalışmada değişebilir Ca ve Mg değerlerinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda bazı örneklerde sadece değişebilir Ca'un bile KDK'dan yüksek çıktığını rapor etmiştir. Yapılan analizler sonucunda toprakların eriyebilir Na içerikleri 1,70 (1 nolu örnek) ile 21,30 me L⁻¹ (19 nolu örnek), eriyebilir K içerikleri 0,17 (14 nolu örnek) – 1,07 me L⁻¹ (30 nolu örnek), eriyebilir Ca içerikleri 1,64 (1 nolu örnek) ile 12,05 me L⁻¹ (29 nolu örnek), eriyebilir Mg içerikleri ise 1,98 (14 nolu örnek) ile 12,48 me L⁻¹ (30 nolu örnek) arasında değişmiştir. Topraklarda anlamlı miktarda CO₃ belirlenmemiştir. Toprakların HCO₃ içerikleri 2,24 (21 nolu örnek) ile 6,72 me L⁻¹ (13 ve 14 nolu örnekler), SO₄ içerikleri 0,18 (35 nolu örnek) – 35,00 me L⁻¹ (12 nolu örnek), Cl içerikleri 0,85 (15 nolu örnek) ile 21,69 me L⁻¹ (25 nolu örnek) ve SAR değerleri ise 1,03 (28 nolu örnek) ile 8,74 (19 nolu örnek) arasında değişmiştir. Topraklarda tuzluluk sınırı, toprağın EC değeri olup, EC'si 4 dS/m⁻¹'ten büyük ise tuzlu, toprak olarak sınıflandırılmaktadır (Richards ve ark., 1954; Rengasamy, 2006) Yine topraklar için sodiklik sınırı ise ESP değeri olup, ESP %15'den büyük olan topraklar sodik olarak sınıflandırılır (Richards ve ark., 1954). Parametreler arasında en düşük varyasyon katsayısı (VK) Ca+Mg değerlerinde (% 19,90) olup, bunu değişebilir K (% 35,16) değerleri izlemiştir. En yüksek varyasyon katsayısı ise ESR (% 27,02) değerlerinde belirlenmiştir (Tablo 3). Bu verilere göre, SO₄, ESP, ESR ve değişebilir Na değerleri yüksek, diğer parametreler ise orta düzeyde değişkenliğe sahiptir.

Tablo 3. Toprakların değişebilir katyon ve suda eriyebilir katyon ve anyon içerikleri

Örnek no	Değişebilir katyonlar (me/100g)			Suda eriyebilir katyonlar (me L ⁻¹)				Suda eriyebilir anyonlar (me L ⁻¹)			ESR	ESP	SAR
	Na	K	Ca+Mg	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Cl			
1	0,19	0,19	25,71	1,70	0,22	1,64	3,12	3,73	0,98	4,79	0,0074	0,73	1,106
2	0,25	0,53	22,71	2,62	0,47	4,15	6,06	3,73	1,85	2,87	0,0108	1,07	1,158
3	0,19	1,22	30,88	2,12	0,46	2,03	3,32	4,67	1,94	1,41	0,0060	0,59	1,295
4	1,35	0,91	24,93	7,22	0,44	3,28	3,97	4,67	6,25	3,66	0,0522	4,96	3,792
5	4,44	0,56	19,64	4,18	0,56	3,65	3,64	3,73	6,27	3,66	0,2200	18,03	2,189
6	0,73	0,90	33,86	9,57	0,34	5,03	7,89	5,60	1,15	21,13	0,0210	2,06	3,764
7	0,45	0,68	21,84	4,16	0,31	2,82	5,47	5,60	3,92	2,82	0,0201	1,97	2,042
8	0,48	0,86	19,95	4,38	0,66	3,03	5,84	4,67	5,17	5,35	0,0230	2,25	2,079
9	1,10	1,47	29,98	7,06	0,76	3,90	5,96	5,60	5,63	7,61	0,0348	3,37	3,180
10	0,41	1,01	31,30	4,40	0,44	3,70	5,18	5,04	3,75	4,51	0,0127	1,25	2,091
11	0,23	0,77	26,39	2,80	0,26	2,42	2,65	6,16	2,29	4,45	0,0086	0,86	1,759
12	3,30	0,88	23,66	19,35	0,28	7,05	9,45	4,48	35,00	18,31	0,1347	11,87	6,737
13	0,82	1,10	29,53	6,00	0,37	3,25	4,82	6,72	6,04	4,51	0,0267	2,60	2,987
14	0,75	0,86	35,01	3,39	0,17	1,90	1,98	6,72	1,96	1,13	0,0208	2,04	2,434
15	0,34	1,32	21,14	3,01	0,78	3,40	4,54	5,60	2,46	0,85	0,0151	1,49	1,510
16	0,41	0,79	28,82	3,07	0,30	2,15	2,16	5,60	0,83	1,18	0,0138	1,36	2,091
17	0,64	0,91	31,26	3,76	0,39	3,23	4,38	3,36	8,96	1,69	0,0200	1,96	1,925
18	1,28	0,73	30,62	3,60	0,33	4,08	7,34	3,36	3,77	1,69	0,0408	3,92	1,509
19	4,60	0,76	25,93	21,30	0,32	4,94	6,95	3,36	26,04	10,70	0,1724	14,70	8,737
20	1,03	1,22	22,87	10,00	0,72	4,90	7,25	3,36	7,71	15,77	0,0430	4,12	4,057
21	0,50	0,96	30,93	4,43	0,33	3,19	3,36	2,24	3,85	2,54	0,0158	1,56	2,447
22	1,33	0,66	21,40	8,26	0,20	4,69	6,46	2,24	10,83	4,23	0,0603	5,69	3,500
23	0,25	1,74	32,72	3,05	0,31	3,37	3,56	2,80	3,15	2,82	0,0073	0,73	1,639

24	0,19	0,72	33,21	2,10	0,27	1,99	3,05	3,92	1,56	1,13	0,0056	0,56	1,320
25	3,03	0,91	29,12	17,74	0,48	10,10	8,09	3,36	7,50	21,69	0,1011	9,18	5,883
26	0,19	0,88	37,09	4,68	0,28	3,85	3,95	3,36	6,25	3,94	0,0050	0,50	2,371
27	0,15	0,32	14,68	2,38	0,18	1,91	2,49	3,36	0,21	2,82	0,0099	0,98	1,603
28	0,23	1,58	28,76	3,04	0,94	9,85	7,69	2,24	9,38	5,63	0,0077	0,77	1,028
29	0,97	1,11	25,15	8,52	0,70	12,05	11,10	2,80	13,96	12,68	0,0368	3,55	2,505
30	0,93	0,76	20,64	6,89	1,07	8,03	12,48	2,24	8,75	9,30	0,0435	4,17	2,151
31	0,68	0,68	25,11	8,54	0,30	8,04	8,93	2,24	25,00	4,51	0,0263	2,56	2,932
32	0,46	0,94	24,87	4,49	0,34	3,48	3,36	6,72	3,38	3,10	0,0179	1,75	2,429
33	0,41	0,98	20,55	3,57	0,65	4,59	4,78	2,24	3,96	1,97	0,0190	1,86	1,652
34	1,22	1,30	21,35	6,93	0,77	3,34	3,23	2,24	3,54	18,59	0,0538	5,10	3,828
35	0,23	0,61	34,40	3,16	0,24	2,67	2,44	3,92	0,18	1,13	0,0067	0,67	1,977
36	0,86	0,76	23,18	6,23	0,36	3,81	5,77	2,24	5,42	5,63	0,0360	3,47	2,847
37	0,30	1,11	33,42	3,04	0,34	4,15	4,39	2,24	0,83	5,63	0,0088	0,87	1,473
ED	0,15	0,19	14,68	1,70	0,17	1,64	1,98	2,24	0,18	0,85	0,005	0,50	1,03
EY	4,60	1,74	37,09	21,30	1,07	12,05	12,48	6,72	35,00	21,69	0,220	18,03	8,74
Ort.	0,94	0,91	26,83	5,97	0,44	4,32	5,33	3,95	6,48	6,09	0,037	3,38	2,65
SS	1,11	0,32	5,34	4,65	0,22	2,44	2,53	1,45	7,50	5,88	0,047	3,97	1,61
VK	118,01	35,16	19,90	77,88	50,00	56,48	47,46	36,71	115,74	96,55	127,02	117,45	60,75

ED: En düşük, EY: En yüksek, Ort.: Ortalama SS: Standart sapma

VK: varyasyon katsayısı (%)

3.3. Araştırma Alanının Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler

Araştırma konusu toprakların özellikleri arasındaki korelasyon analiz sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Toprakların EC değerleri ile pH değerleri arasında istatistiksel açıdan negatif ($p<0,05$), değişebilir sodyum (Na) değerleri arasında ise pozitif ($p<0,01$); değişebilir Ca+Mg değerleri ile KDK arasında pozitif ($p<0,01$); ESP ve ESR değerleri ile EC ve Na değerleri arasında pozitif ($p<0,01$); eriyebilir sodyum (Na) değerleri ile değişebilir Na, ESP ve ESR değerleri arasında pozitif ($p<0,01$) ilişkiler saptanmıştır. Demircioğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada da EC ile pH arasında negatif, değişebilir Na arasında ise pozitif düzeyde önemli ilişkiler belirlenmiştir. Sharma ve ark. (2020) ise pH ile EC arasında pozitif ilişkiler belirlemiştir. Bu durum toprak çözeltilisindeki sodyum ile değişim yüzeylerinde tutulan sodyum arasındaki bir dengeyi de göstermektedir.

Yine, eriyebilir potasyum (K) ile kireç ve değişebilir K arasında; eriyebilir kalisyum (Ca) ile Na ve K arasında; eriyebilir magnezyum (Mg) ile eriyebilir Na, K ve Ca arasında; HCO_3 ile eriyebilir Ca ve Mg arasında; SO_4 ile Na, ESP, ESR, Na_e Ca ve Mg arasında; Cl ile değişebilir Na, ESP, ESR ve eriyebilir Na arasında ve SAR ile EC, değişebilir Na, eriyebilir Na, Mg, SO_4 ve Cl arasında istatistiksel açıdan % 1 düzeyinde önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 4). Doğan ve Gülser (2020) tarafından yapılan çalışmada da ise topraklarda kireç ile pH arasında 0,01 düzeyinde pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Toprakların kum içeriği ile SAR değerleri arasında 0,05 düzeyinde, kireç, değişebilir Na, ve kil içerikleri arasında 0,01 düzeyinde negatif ilişkiler belirlenmiştir. Silt içeriği ile kum içeriği arasında 0,01 düzeyinde negatif ve kireç ve eriyebilir potasyum arasında 0,01 düzeyinde önemli pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Kil içerikleri ile kireç içerikleri arasında 0,05 düzeyinde, KDK, DK ve değişebilir Ca+Mg içerikleri arasında ise 0,01 düzeyde önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Ayrıca, toprakların ESR ile SAR değerleri arasında ($r^2= 0,677$) ve ESP ile SAR değerleri arasında ($r^2= 0,702$) istatistiksel açıdan 0,01 düzeyinde önemli düzeyde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Bu durum toprakların SAR değerleri ile ESP ve ESR değerleri arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Toprak özellikleri arasındaki korelasyon katsayıları

Özellik	pH	EC	Kireç	KDK	N _d	K _d	Ca _d +Mg _d	ESP	ESR	Na _e	K _e	Ca _e	Mg _e	HCO ₃	SO ₄	Cl	SAR	Kil	Kum
EC	0,341 *																		
Kireç	-0,041	0,266																	
KDK	-0,162	-0,090	-0,103																
Na _d	-0,244	0,793 **	0,280	-0,020															
K _d	-0,004	-0,220	0,241	0,314	-0,121														
Ca _d +Mg _d	-0,110	-0,240	-0,175	0,978 **	-0,220	0,277													
ESP	-0,249	0,838 **	0,290	-0,125	0,986 **	-0,149	-0,320												
ESR	-0,264	0,844 **	0,280	-0,118	0,982 **	-0,157	-0,312	0,999 **											
Na _e	0,062	0,411 *	0,282	0,051	0,760 **	0,026	-0,108	0,692 **	0,665 **										
K _e	0,159	0,024	0,460 **	-0,297	0,037	0,499 **	-0,332 *	0,083	0,073	0,029									
Ca _e	0,068	0,238	0,318	-0,024	0,299	0,238	-0,101	0,278	0,257	0,524 **	0,473 **								
Mg _e	0,227	0,242	0,339 *	-0,149	0,308	0,094	-0,217	0,298	0,271	0,565 **	0,480 **	0,844 **							
HCO ₃	0,160	-0,107	0,073	0,157	-0,090	-0,003	0,175	-0,120	-0,114	-0,107	-0,228	-0,414 *	-0,334 *						
SO ₄	0,080	0,415 *	0,247	-0,058	0,603 **	0,002	-0,183	0,581 **	0,564 **	0,771 **	0,025	0,550 **	0,604 **	-0,224					
Cl	0,252	0,245	0,289	0,012	0,456 **	0,172	-0,093	0,422 **	0,395 *	0,740 **	0,273	0,551 **	0,554 **	-0,138	0,393 *				
SAR	0,050	0,374 *	0,263	0,079	0,770 **	0,014	-0,082	0,702 **	0,677 **	0,963 **	-0,067	0,319	0,365 *	-0,015	0,697 **	0,668 **			
Kil	-0,161	0,123	0,345 *	0,570 **	0,198	0,454 **	0,498 **	0,148	0,139	0,256	-0,078	0,050	0,006	0,182	0,188	0,161	0,310		
Kum	0,177	-0,219	-0,718 **	-0,316	-0,299	-0,455 **	-0,224	-0,276	-0,265	-0,305	-0,168	-0,137	-0,131	-0,095	-0,283	-0,214	-0,354 *	-0,854 **	
Silt	-0,108	0,240	0,869 **	-0,194	0,288	0,228	-0,266	0,314	0,304	0,219	0,422 **	0,188	0,236	-0,072	0,273	0,179	0,236	0,222	-0,697 **

** : 0,01 düzeyinde önemli, * : 0,05 düzeyinde önemli

3.4. Topraklarda ESR-SAR Arasındaki İlişkiler

Bu çalışmada, toprakların pH, EC, kireç ve kil içeriğinin ESR ve SAR ilişkisine etkisini belirlemek amacıyla, her bir değişken iki gruba ayrılmış ve her bir gruptaki ESR ve SAR değerleri arasında regresyon analizi yapılarak, her özelliğin iki grubu için ESR-SAR ilişkisi belirlenmiştir. Ancak pH değerleri için bulunan ESR-SAR ilişkisinin denklemi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır.

Toprakların EC değerleri için $1,000 \text{ dS m}^{-1}$, kireç içerikleri için %15 ve kil içerikleri için ise %40 değerleri sınır kabul edilerek iki gruba ayrılmış ve her bir grup için ESR-SAR ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca, tüm toprakların ESR ile SAR değerleri arasında yapılan regresyon analizi yapılarak çalışma alanı için genel ESR-SAR denklemi belirlenmiştir (Tablo 5). Toprakların EC değeri arttığında Kg değerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, aynı SAR değerine sahip iki sulama suyundan EC'si düşük olan su aynı toprakta EC'si yüksek olan suya göre daha fazla alkaliliğe neden olacağını belirtmektedir. Bu konuda Ağca ve Derici (1991) de benzer sonuçlar bulmuştur. Diğer yandan toprakların kil içeriği arttıkça ESR-SAR ilişkisinin katsayısının (Kg) arttığı görülmüştür. Bu durum, aynı SAR içeriğine sahip su ile sulanan topraklarda kil içeriği yükseldikçe daha fazla alkalileşeceğini göstermektedir. Kireç içerikleri ise ESR-SAR ilişkisinin katsayısını fazla etkilememiştir.

Tablo 5. Bazı toprak özelliklerinin ESR-SAR ilişkisine etkisi

Özellik	ESR = a+ Kg _x SAR	r	P
EC >1,000 dS m ⁻¹	ESR= 0,001+0,018xSAR	0,697	0,01**
EC <1,000 dS m ⁻¹	ESR = -0,006+0,011xSAR	0,571	0,05*
Kireç >% 15	ESR = -0,019+0,018xSAR	0,868	0,01**
Kireç <% 15	ESR = -0,008+0,019xSAR	0,637	0,01**
KİL >%40	ESR = -0,001+0,011xSAR	0,601	0,05*
KİL <%40	ESR = -0,015+0,020xSAR	0,654	0,01**
Genel	ESR = -0,16 + 0,020xSAR	0,677	0,01**

Bu eşitliklerdeki Kg değerleri Gapon katsayısı, a değerleri ise kayma değeri olarak adlandırılmaktadır. Gapon katsayısı toprakların alkalileşme eğiliminin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Çünkü toprak çözeltisi ile değişim fazı arasındaki denge durumunda, alkalileşme eğiliminin bir kıstası olan ESR ve ESP değerleri, herhangi bir SAR değerinde, öncelikle gapon katsayısı değerlerine, bir dereceye kadar da kayma değerlerine bağlıdır (Ağca ve Derici, 1991). Ağca ve Doğan (2000)'nın Amik Ovasında yer alan bazı topraklarda yaptıkları çalışmada gapon katsayısı 0,009 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ise genel ilişkinin Kg değeri 0,020 olarak saptanmıştır. Her iki ova toprakları da aynı SAR değerine sahip sularla sulandığında, Arsuz ovasındaki topraklar, Kg değeri daha yüksek olduğu için daha önce ve daha fazla alkalileşecektir. Iğdır ovası topraklarında yapılan bir araştırmanın sonucuna göre; ESR ve SAR arasındaki ilişkisinin katsayısı olan gapon katsayısı (Kg), bunlar arasında yapılan regresyon analizi ile 0,015 olarak belirlenmiştir (Anaplı, 1993). Yine, Elseewi

ve ark., (1977), Nil deltasında alınan 31 yüzey toprak örneğinin ESR-SAR ilişkisini incelemiş ve Gapon katsayısı (K_g) 0,01457 olarak belirlenmiştir. Farklı zaman ve farklı yerlerde belirlenen Gapon katsayılarının (K_g) farklı olması, toprak özelliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yine, Ranjber ve Jalali, (2015), tarafından kireçli ve sodikle yapılan çalışmada ESR-SAR ilişkisinin karşı anyonlar çeşidi tarafından etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, ESR-SAR ilişkisinin organik madde, kil içeriği, katyon değişim kapasitesi gibi temel toprak özellikleri önemli düzeyde farklı olan toprakların her biri için belirlenmesi zorunlu görülmektedir.

Kanada’da yapılan bir çalışmada ESR-SAR ilişkisi araştırılmıştır. Yapılan regresyon analizinde her bir horizonun ESR ve SAR değerleri arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur. A horizonu için K_g değeri 0,0058, B horizonu için 0,0173 olarak saptanmıştır. Araştırmacılara göre K_g değerlerindeki bu farklılık, horizonlar arasındaki özellikle kil ve organik madde içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanmıştır (Harron ve ark., 1983).

Bu çalışmada, değişebilir sodyum oranı (ESR) ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerleri belirlenerek bunlar arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Oysa topraklarda alkalileşmenin ölçütü olarak genellikle topraklardaki değişim komplekslerinin sodyum doygunluğunu gösteren değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle ESR-SAR ilişkisini gösteren denklemler, ESR ve ESP arasındaki aşağıda verilen matematiksel ilişkiden yararlanılarak ESP-SAR denklemlerine dönüştürülmüş ve Tablo 6’da sunulmuştur.

$$(ESP = (ESR \times 100) / (1 + ESR)) \quad (5)$$

Tablo 6. Araştırma konusu topraklarda ESP-SAR denklemleri

Özellik	ESP-SAR denklemi
$EC > 1,000 \text{ dS m}^{-1}$	$ESP = (0,01 + 0,018 \times SAR) \times 100 / (1 + (0,01 + 0,018 \times SAR))$
$EC < 1,000 \text{ dS m}^{-1}$	$ESP = (-0,006 + 0,011 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,006 + 0,011 \times SAR))$
Kireç $> \% 15$	$ESP = (-0,019 + 0,018 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,019 + 0,018 \times SAR))$
Kireç $< \% 15$	$ESP = (-0,008 + 0,019 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,008 + 0,019 \times SAR))$
KİL $> \% 40$	$ESP = (-0,001 + 0,011 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,001 + 0,011 \times SAR))$
KİL $< \% 40$	$ESP = (-0,015 + 0,020 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,015 + 0,020 \times SAR))$
Genel	$ESP = (-0,16 + 0,020 \times SAR) \times 100 / (1 + (-0,16 + 0,020 \times SAR))$

5. Sonuçlar

Toprak tuzluluğu ve alkaliliği sınıflandırmasında toprağın kimyasal özelliklerinden olan pH, SAR (Sodyum adsorpsiyon oranı), EC (elektriksel iletkenlik) ve ESP değerleri (değişebilir sodyum yüzdesi) en önemli parametrelerdir.

Toprakların değişebilir katyon içeriklerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması $Ca + Mg > Na > K$ şeklinde olmuştur. Değişebilir sodyumun düşük olması ESR ve ESP değerlerinin de düşük olmasını

sonuçlamıştır. Topraklarda değişebilir Ca ve Mg içeriklerinin yüksek olması, topraklarda sodikleşmenin önlenmesi açısından son derece önemlidir. Ayrıca, eriyebilir katyon içeriklerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması $Na > Mg > Ca > K$ şeklinde olmuştur. Eriyebilir Na içeriğinin yüksek olması SAR değerlerinin de yüksek olmasına neden olmaktadır. Ancak, toprakların SAR değerleri incelendiğinde, çok yüksek olmadıkları görülmektedir (Tablo 3). Bu durum eriyebilir Ca+Mg içeriklerinin eriyebilir Na içeriklerinden oldukça yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Toprakların bazılarında (5, 12 ve 19 nolu örnekler) ESP ve SAR değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu alanlarda toprakların daha fazla alkalileşmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

Korelasyon analiz sonuçları incelendiğinde, Toprakların EC, SO_4 ve Cl içeriklerinin ESR ve SAR değerlerini anlamlı ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu sonuç, EC, SO_4 ve Cl içeriklerinin ESR-SAR ilişkisini de etkilediğini göstermektedir.

Topraklarda ESR-SAR ilişkilerinin regresyon denklemlerinin eğimleri (Kg), toprakların alkalileşmeye karşı eğilimlerinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Çünkü herhangi bir SAR değerine karşılık toprakların alacağı ESR veya ESP değerleri öncelikle Kg değerlerine, bir dereceye kadar da denklemlerin kayma değerlerine bağlıdır. Diğer bir deyişle, herhangi bir toprağın Kg değeri ne kadar büyükse, belirli bir SAR değerinde bu topraktaki ESR veya ESP değeri de o kadar büyük olacaktır.

Toprakların ESR-SAR ilişkisinin katsayısı (Gapon katsayısı)'nın yüksek olması, dolayısıyla bu toprakların alkalileşme eğiliminin yüksek olması nedeniyle, bu alanda kullanılacak sulama sularının SAR değerlerinin düşük olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle ESR-SAR ve ESP-SAR arasındaki ilişkiler, toprak özelliklerinin anlamlı olarak değiştiği bölgelerde ayrı ayrı belirlenmelidir. ESR-SAR ilişkileri çalışmalarından yapılan bölgedeki uygulayıcı tarım kuruluşlarına büyük yararlar sağlarken, diğer yandan da bundan sonra yapılacak olan alkalileşme veya sodikleşme sorunlarını giderme ve iyileştirme çalışmalarında kullanılacak temel veriler sunacaktır.

Bu çalışmada ova için tek bir ESR-SAR eşitliği belirlenmiştir. Bundan sonra bölgede yapılacak çalışmalarda fazla sayıda örnek alınarak, toprak özelliklerinin anlamlı olarak değiştiği yerler için ayrı ayrı ESR-SAR ilişkisi belirlenmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma; Ahmet BENİCE'nin, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenen (Proje No: 18.YL.066) Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Maddi destekleri nedeniyle Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye %50 oranlarında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ağca N., Derici MR. Harran ovasının yaygın toprak serilerinde değişebilir sodyum oranı (ESR) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) arasındaki ilişkiler. Doğa - Tr. J. of Agriculture and Forestry 1991; 15: 239-247.
- Ağca N., Doğan K. The relationships between the exchangeable sodium ratio (ESR) and sodium adsorption ratio (SAR) in some soils of the Amik Plain. Proceedings International Symposium on Desertification 13-17 June, 2000. pp. 386-390. Konya
- Alharbi A. Impact of soil salinity on agriculture in arid regions. Journal of Agricultural and Veterinary Sciences 2015; 267(3120): 1–11.
- Allison LE., Moode CD. Carbonate. In: Black C.A. (ed) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy series. ASA. 1965; 9:1379-1396, Wisconsin.
- Anaplı Ö. Iğdır ovası topraklarında SAR-ESP ilişkisi üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi 1993; 24(1): 66-74.
- Anonim. Rakamlarla Hatay tarım kimliği. Hatay Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü 2016.
- Anonim. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Arsuz İlçe Müdürlüğü verileri 2017.
- Anonim. Hatay ili iklim verileri 2019. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=> (Erişim tarihi: 29.01.219)
- Bouyoucos GJ. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal 1951; 43: 434-438.
- Bower CA. Cation exchange equilibrium in soils affected by sodium salts. Soil Science 1959; 88: 32-35.
- Budak M. Tuzlu alkali toprakların oluşumu, sınıflandırılması ve klasik toprak etüd ve jeostatistik yöntemlerle haritalanması. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı. Doktora tezi. Tokat, 2012.
- Demircioğlu M. Arsuz Ovası topraklarının özelliklerinin yersel dağılımının jeostatiksel yöntemlerle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 2019.
- Diñç U., Kumova Y., Bahtiyar M., Çevik B., Çullu MA., Bahçeci İ., Özer N., Yanar M. Toprak tuzlulaşması. Workshop. 7 Ekim 1998, şanlıurfa. Tema Vakfı Yayınları No: 30. İstanbul.
- Doğan K., Ağca N., Keçecioğlu F., Benice A., Tek T. Spatial distribution of microbial activities in Arsuz plain soils (Hatay, Turkey). Arabian Journal of Geosciences 2020; 13: 581.
- Doğan B., Gülser C. Soil quality assessment for olive groves areas of Menderes District, Izmir-Turkey. Eurasian J Soil Sci 2020; 9(4): 298-305.

- Elsewi A., Elattar HA., Daoud M. Relationship between soluble and exchangeable sodium in some soils of The Nile Delta: an examination of the SAR Concept. *Soil Science* 1977; 124(4): 249-254.
- Eyüpoğlu F. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. *Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü yayınları* 1999, Teknik Yayın No: T-67. Ankara.
- Gedikoğlu İ. Laboratuvar analizlerinin gübre önerilerinde kullanılması ve halen kullanılan kriterler. Köy hizmetleri Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü yayınları. 1990. Genel Yayın No: 57, Teknik Yayın No: 13. Şanlıurfa.
- Ghassemi F., Jackeman AJ., Nix HA. Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies. 1995. CAB International, Wallingford Oxon, UK.
- Harron WRA., Webster GR., Cairns RR. Relationships between exchangeable sodium and sodium adsorption ratio in a solonchic soil association. *Can. J. Soil Sci.* 1983; 63: 461-467.
- Jackson ML. Soil chemical analysis. Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 1964.
- James DW., Hanks RJ., Jurinak JJ. Modern irrigated soils. John Wiley and Sons. Printed in USA. 235; 1982.
- Kamphorst A., Bolt GH. Saline and sodic soils. In: Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. (ed) *Soil Chemistry. A Basic Elements* Elsevier Scientific Publishing Company. 1978. 155 P. Amsterdam-Oxford-New York.
- Ranjbar F., Jalali M. The effect of chemical and organic amendments on sodium exchange equilibria in a calcareous sodic soil. 2015; *Environ Monit Assess*, 187: 683.
- Rengasamy P., Churchman GJ. Cation exchange capacity, exchangeable cations and sodicity. In: K. Peverill et al., (ed). *Soil Analysis and Interpretation Manual*, CSIRO. 147-155. 1999. Australia.
- Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany* 2006; 57(5): 1-13.
- Qadir M., Oster JD., Schubert S., Noble AD., Sahrawat KL. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Adv. Agron.* 2007; 96: 197–247.
- Qadir M., Schubert S. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad. Dev.* 2002; 13: 275:294.
- Richards L. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils U.S. Agriculture Handbook No.60. 1954, 159 p.
- Rozema J., Flowers T. Crops for a salinized world. *Science* 2008; 322(5907): 1478–1480.
- Suarez DL. Sodic soil reclamation: modeling and field study. *Aust. J. Soil Res.* 2001; 39: 1225–1246.
- Sharma RP., Chattaraja S., Vasua D., Karthikeyana K., Tiwarya P., Naitama RK. Dasha B., Tiwaria G., Jangira A., Daripaa A, Singhb SK., Anantwara, SG., Nimkar AM. Spatial variability assessment of soil fertility in black soils of central India using geostatistical modelling. *Archives of Agronomy and Soil Science* 2020. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.176667>.

Zhang XY., Yue-Yu S., Zhang XD., Kai M., Herbert S. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. *Pedosphere* 2007; 17(1): 19-29.

Zhou XH., Obuchowski NA. McClish DK. *Statistical methods in diagnostic medicine*, 2nd Edition. ISBN: 978-0-470-18314-4. 2011. 592 p.

LED Işık Kaynaklı Solar Simülatörler Üzerine İnceleme

Ali Samet SARKIN^{1*}, Taner DİNDAR², Vedat ESEN³, Yasin CENGİZ⁴

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadırlı Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 80760, Osmaniye

²Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 06920, Ankara

³İstanbul Topkapı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34087, İstanbul

⁴Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

¹<http://orcid.org/0000-0001-6261-0531>

²<http://orcid.org/0000-0002-4112-2114>

³<http://orcid.org/0000-0001-6230-6070>

⁴<http://orcid.org/0000-0003-0186-6319>

*Sorumlu yazar: sametsarkin@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.05.2022

Kabul tarihi:05.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

LED

Solar simülatör

Fotovoltaik

Spektrum

Işık kaynağı

Dalgaboyu

ÖZ

Bu çalışmada; fotovoltaik cihazların testlerini gerçekleştiren ve son yıllarda kullanımı giderek artan LED ışık kaynaklı solar simülatörler incelenmiştir. Bu amaçla giriş kısmında yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin önemi vurgulanmış, solar simülatörlerin tanımı ve gerekliliği açıklanmıştır. Sonraki bölümlerde ise güneş ışığı detayları belirtilmiş, solar simülatörlerde kullanılan diğer ışık kaynakları incelenmiş, LED ışık kaynaklarının diğerlerine göre farkları ortaya konulmuştur. LED solar simülatörler için ASTM E927-10 ve IEC- 60904-9 standartlarında belirtilen performans kriterleri detaylandırılmış ve bu kriterlerin belirlenmesindeki değerler formüle edilmiştir. Yine aynı standartlar doğrultusunda LED solar simülatörler konusunda gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar incelenmiş ve kronolojik olarak detaylandırılmıştır. Çalışmanın sonunda solar simülatörlerde kullanılan ışık kaynaklarının avantaj ve dezavantajları bir tablo halinde sunulmuştur. Karşılaştırma sonrasında solar simülatörlerde ışık kaynağı olarak kullanılan LED'lerin önemi ve gerekliliği vurgulanmıştır.

Survey on LED Light Source Solar Simulators

Research Article

Article History:

Received: 30.05.2022

Accepted: 05.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

LED

Solar simulator

Photovoltaics

Spectrum

Light sources

Wavelength

ABSTRACT

In this study; LED light source solar simulators, which test photovoltaic devices and whose use has been increasing in recent years, have been examined. For this purpose, the definition and necessity of solar simulators are explained by emphasizing the importance of solar energy one of the renewable energy sources, in the introduction part. In the next chapters, the details of sunlight are specified and other light sources used in solar simulators are examined, and the differences between LED light sources compared to others are revealed. For LED Solar simulators, the performance criteria specified in ASTM E927-10 and IEC-60904-9 standards have been detailed and the values in determining these criteria are formulated. Again, in line with the same standards, scientific studies on LED solar simulators were examined and detailed chronologically. At the end of the study, the advantages and disadvantages of light sources used in solar simulators are presented in a table. After the comparison, the importance and necessity of LEDs used as light sources in solar simulators are emphasized.

To Cite: Sarkin AS., Dindar T., Esen V., Cengiz Y. LED Işık Kaynaklı Solar Simülatörler Üzerine İnceleme. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1438-1452.

1. Giriş

Enerji, ülkelerin sosyal gelişimi ve ekonomik kalkınmasında en önemli etkidir ve enerji olmadan modern toplumdaki söz edilemez (Tükenmez ve Demireli, 2012). Günümüzde ülkelerin gelişmişliği, kişi başına tüketilen enerji miktarı ile ölçülmektedir (Çapık ve ark., 2012). Ekonomik kalkınma ve gelişen teknoloji ile birlikte insanların enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün daha da artmaktadır. Bu durum, sera gazı etkisi nedeniyle küresel ısınmaya yol açan, giderek tükenmekte olan ve elde edilme maliyeti artan fosil yakıtlar yerine dünyada temel bileşen haline gelmiş olan yenilenebilir enerji kaynaklarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Öcal ve Aslan, 2013; Alagöz, 2021). 1970'lerdeki enerji krizinden bu yana özel kuruluşlar ve kamu kurumları, fosil yakıtların neden olduğu sorunları aşmak için yenilenebilir enerji çalışmalarına hız ve destek vermiş, bunun sonucunda son yıllarda bu konuyla ilgili uygulamalar hız kazanmıştır (Liao ve ark., 2011). Yenilenebilir enerji kaynakları, çevrenin korunmasına katkı sağlamasının yanı sıra enerjide dışa bağımlılığı azaltması, kolay erişilebilirlik ve kullanılabilirlik özelliklerinden dolayı tüm ülkeler tarafından benimsenmiştir (Gök ve Kavasoglu, 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarına bakıldığında, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, su gücü, biyolojik yakıt enerjisi ve dalga gücü gibi kaynaklar görülmektedir. Ancak, yıllar içerisinde yapılan çalışmalar rüzgâr ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine doğrudan dönüşümünün daha pratik ve kolay olduğunu göstermektedir (Twidell ve Weir, 2015). Güneş enerjisi, ısıtma, konutların ve ticari binaların aydınlatması, endüstriyel ısıtma ve soğutma uygulamaları için direkt olarak kullanılır. Aynı zamanda güneş enerjisi fotovoltaik güneş hücreleri kullanılarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür (Barış ve Küçükali, 2012). Çevre dostu olması, potansiyelinin yüksek olması, kullanımının diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre kolay olması, güneş enerjisinin daha kolay yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Kurulum maliyetlerinin yüksekliği, veriminin ve kapasite faktörünün düşük olması gibi ekonomik ve teknik zorlukları her geçen gün aşıldıkça güneş enerjisi tüm dünyada daha cazip hale gelecektir.

Fotovoltaik sistemlerin kullanımının artmasıyla birlikte, kullanılacak güneş pillerinin güvenilirliğini sağlamak için performanslarını test etmek en önemli konu haline gelmektedir (Kohroku ve Kurokawa, 2006). Hızla gelişen teknolojiler ve yapılan çalışmalarla birlikte fotovoltaik güneş panellerinin giderek daha da karmaşık yapılara dönüşmesi, panellerin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin çıkarılmasında zorluklara yol açmaktadır. Bu nedenle yapılacak testlerde solar simülatörlerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmektedir. Fotovoltaik panellerin verimli hale gelmesi, panellerin üretiminde kullanılan tüm malzeme ve teknolojilerinin elektriksel ve optik açıdan sağlıklı bir şekilde test edilmesine bağlıdır (Dennis ve ark., 2012). Böylelikle gelecekteki enerji standartları da göz önüne alındığında gerçek gün ışığına yakın spektrum değerlerinin elde edileceği solar simülatörlerin kullanılması bir zorunluluk olmaktadır (Bliss ve ark., 2009).

Solar simülatörler güneş ışığına benzer yoğunlukta spektral kompozisyon sunan cihazlardır. Yaygın olarak kontrol edilebilen kapalı bir sisteme sahip olan solar simülatörler, güneş ışığına duyarlı olan

güneş hücreleri, güneş panelleri, plastikler ve diğer materyaller için laboratuvar koşullarını sunarlar (Esen ve ark., 2017). Solar simülatörler genellikle ışık kaynağı ve buna bağlı güç kaynağı, gereksinimleri karşılamak için ışın yönlerini değiştiren herhangi bir optik ve filtre, simülatörü çalıştırmak için gerekli kontroller olmak üzere üç ana bileşenden oluşurlar. Güneş ışığını ve şiddetini simüle etmek amacıyla uygun bir ışık kaynağı seçimi, solar simülatör tasarımında en önemli kısımdır ve ışık kaynakları spektral nitelikleri, aydınlatma düzeni, kolimasyonu, ışık akısı kararlılığı ve ışık menzili gibi özellikleri dikkate alınarak seçilmektedir (Krusi ve Schmid, 1983). Solar simülatör uygulamalarında güneş ışığını IEC 60904-9 ve ASTM E927-10 standartlarına uygun simüle etmek için farklı ışık kaynakları kullanılmaktadır (Esen ve ark., 2020).

En yaygın olarak kısa ark veya uzun ark xenon lambalar ışık kaynağı olarak kullanılırken, metal halide ark lambaları, karbon ark lambaları ve kuvars tungsten halojen lambalar da bazı simülatör tasarımlarında ışık kaynağı olarak seçilmiştir (Esen ve ark., 2017). Günümüzde geleneksel ışık kaynakları ile karşılaştırıldığında düşük maliyet, daha kompakt olma, daha az güç tüketimi gibi avantajları nedeniyle, yapılan araştırma ve çalışmalarda ışık kaynağı olarak LED (Light Emitting Diode) kullanılmaya başlamıştır (Esen ve ark., 2022). Bu çalışmada ışık kaynağı olarak LED kullanılan solar simülatörler ele alınmış ve fotovoltaik cihaz testlerindeki önemi vurgulanmıştır.

2. Solar Simülatörlerde Kullanılan Işık Kaynakları

Fotovoltaik panellerin karasal uygulamaları için test standartları, ERDA ve NASA tarafından desteklenen iki atölye faaliyeti sırasındaki bir dizi çalışma neticesinde ortaya konulmuştur. 1975 ve 1977 yılında yapılan çalışmalardan sonra yayımlanan nihai raporda solar simülatörlerin ayrıntılı açıklamaları da dahil olmak üzere karasal fotovoltaik ölçüm prosedürlerinin standartları oluşturulmuştur (Brandhorst et al. 1975). Bu raporda, standart ışınım şiddeti 1000 W/m^2 seçilirken, AM (air mass) (hava kütlesi) 1,5 spektral bileşen olarak seçilmiştir ve her ikisi de günümüzde güneş simülatörleri için ASTM (Amerikan Society for Testing and Materials) standartlarında kullanılmaktadır (Esen ve ark., 2017).

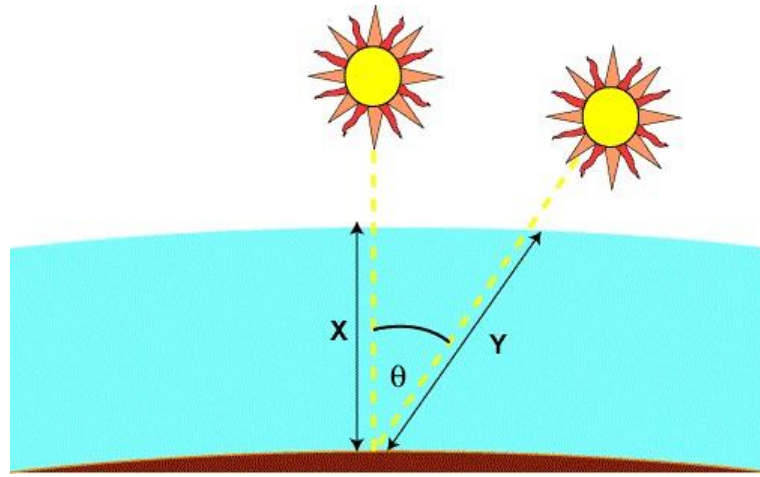
Hava Kütlesi, ışığın mümkün olan en kısa yol uzunluğuna (yani, güneş doğrudan tepedeyken) normalize edilmiş atmosferde aldığı yol uzunluğudur. Hava Kütlesi, atmosferden geçerken ve hava ve toz tarafından emilirken ışığın gücündeki azalmayı ölçer. Hava Kütlesi şu şekilde formüle edilir:

$$AM = \frac{1}{\text{Cos}(\theta)} \quad (1)$$

Bu denklemde “ θ ” dikeyden açıdır (zenit açısı). Güneş tam tepedeyken hava kütlesi 1'dir.

Hava kütlesi, ışığın Dünya'ya çarpmadan önce geçmesi gereken atmosferin havai yol uzunluğuna göre oranını temsil eder ve Y/X 'e eşittir (Şekil 1). 1000 W/m^2 güneş ışınım düzeyi genellikle bir birim olarak seçilmiştir ($1 \text{ güneş} = 1000 \text{ W/m}^2$).

Güneş ışığını ve şiddetini simüle etmek amacıyla uygun bir ışık kaynağı seçimi, güneş simülatörü tasarımında en önemli kısımdır (Brandhorst ve ark., 1975). Solar simülatör uygulamalarında güneş ışığını standartlara uygun simüle etmek için farklı ışık kaynakları kullanılmaktadır. Solar simülatörlerin ışık kaynaklarını sınıflandırdığımızda; Karbon Ark Lambalar, Quartz Tungsten Halojen Lambalar, Mercury Xenon Lambalar, Xenon Ark Lambalar, Metal Halide Ark Lambalar oldukları görülmektedir.



Şekil 1. Hava kütlesi (Air Mass) bileşenleri (PV Education, 2022)

Karbon ark lambası spektral yapısının AM 0 ile uyuşmasından dolayı karasal fotovoltaik panel testlerinden çok uzay güneş simülatörlerinde ve multi-junction solar hücre optimizasyonunda ışık kaynağı olarak kullanılmıştır (Xu ve Woodyard, 2000).

Halojen lambalar solar simülatör uygulamalarında yüksek ışık şiddeti, ucuzluğu, kullanılabilirliği ve doğal güneş ışığına yakın spektral aralığı nedeniyle tercih edilmektedir (Roberts ve ark., 2014; Irwan ve ark., 2015).

Mercury Xenon lambalar ilk solar simülatör tasarımlarında yaygın olarak kullanılmıştır (Esen ve ark., 2017). Günümüzde bazı spesifik çalışmalarda (Alxneit, 2011) ışık kaynağı olarak kullanılsa da yaygın olarak daha sonraki solar simülatör tasarımlarında yerini xenon ark lambalara bırakmıştır (Wang ve Laumert, 2014).

Xenon ark lambası yüksek ışık yoğunluğu ve spektrumunun güneş ışığıyla neredeyse eşleşebilmesi gibi avantajları nedeniyle konvansiyonel solar simülatörlerde ışık kaynağı olarak sıkça kullanılmaktadır (Esen ve ark., 2017). Xenon ark lambalarının yüksek güç tüketimi, kapsamlı bakıma ihtiyaç duyması ve kısa ömürlü olması gibi özellikleri de dezavantajlardır. Solar simülatörlerde ışık

kaynağı olarak zaman zaman Xenon ark lambaları yerine Xenon flash lambaları da tercih edilir (Kolberg ve ark., 2011).

Endüstriyel aydınlatmada oldukça sık kullanılan metal halide lambalar solar simülatörlerde de xenon lambaların yüksek güç tüketimi, elektronik sürücülerinin maliyeti ve kısa ömürlü olması nedeniyle özellikle de fiyat avantajı açısından ışık kaynağı olarak seçilmektedir (Ekman, ve ark., 2015; Codd ve ark., 2010; Novickovas ve ark., 2015).

Fotovoltaik panel testleri için yüksek kaliteli solar simülatörlere olan talebin artması hücre verimliliği ölçümlerinin yüksek doğruluk altında yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Georgescu ve ark. 2008). Tek ışık kaynağı ile yapılan solar simülatör uygulamalarında bazı dezavantajlar meydana gelebilmektedir. Bu tür dezavantajlardan dolayı tek solar simülatörde farklı ışık kaynaklarının bir arada kullanıldığı çalışmalar da yapılmıştır (Tawfik ve ark., 2018).

Son yıllarda yapılan fotovoltaik cihazlar için yapılan solar simülatör çalışmalarında (Dennis ve ark., 2012; Dennis ve ark., 2014) super continuum lazer ile yapılan solar simülatör çalışmalarında sonuçların umut verici olduğu ve bu teknolojinin daha da geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Günümüzde geleneksel ışık kaynakları ile karşılaştırıldığında düşük maliyet, daha kompakt olma, daha az güç tüketimi gibi avantajları nedeniyle, yapılan araştırma ve çalışmalarda ışık kaynağı olarak LED (Light Emitting Diode) kullanılmaya başlanmıştır (Hakki ve ark., 2022; Novickovas ve ark., 2015). Tablo 2’de ışık kaynaklarının hangi yıllarda kullanılmaya başladığı gösterilmiştir.

Tablo 1. Solar simülatörlerde kullanılan ışık kaynakları (Esen ve ark., 2017)

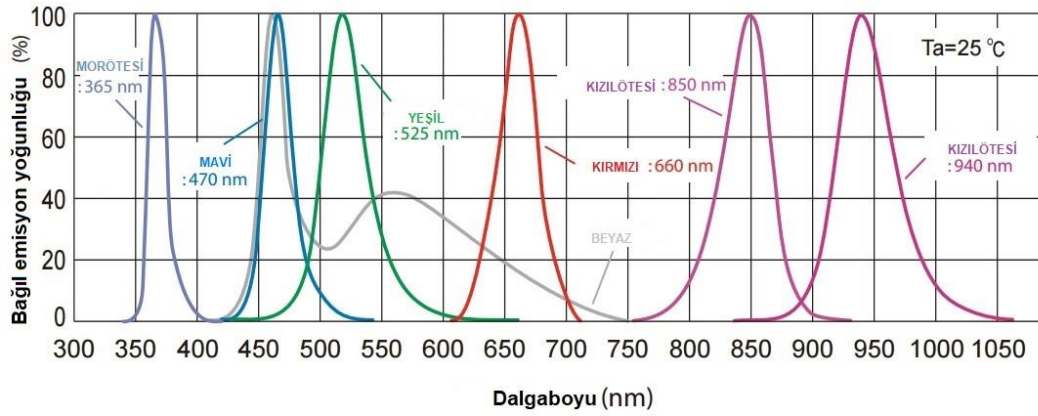
Solar Simülatörlerde Kullanılan Işık Kaynakları								
Karbon	Kuvars	Mercury	Xenon Ark	Metal	Led	Çoklu	Işık	Super
Ark	Tungsten	Xenon	Lambası	Halide		Kaynakları		Continuum
Lambası	Halojen	Lamba	Xenon Flaş	Lamba				Lazer
Yüksek	Lamba		Lambası					
Basınçlı								
Sodyum								
Buhar								
Lambası								
Argon Ark								
Lambası								

Tablo 2. Solar simülatörlerdeki ışık kaynaklarının ilk kullanıldığı yıllar (Esen ve ark. 2017)

←1960	1961	1962	1972	1990	2003	2005	2011→
Karbon Ark	Xenon Ark/ Mercury Xenon	Kuvars Tungsten Halojen	Argon Ark	Çoklu Işık	Led	Metal Halide	Süper Continuum Lazer

3. LED'lerin Spektral Değerleri

LED'ler, bir yarı iletken içeren ve dar bant yayan ışık kaynaklarıdır (Plyta ve ark., 2013). Dalga boyu kavramı genellikle renkli, morötesi (UV) ve kızılötesi (IR) LED'leri ayırt etmek için kullanılır, ancak beyaz LED'ler için kullanılamaz. Beyaz LED kaynakları nanometre (nm) yerine Kelvin cinsinden ölçülür. Kelvin sıcaklığı düşükse, beyaz bir LED ışık kaynağı göze daha sıcak görünür. LED ampullerin ve armatürlerin çoğu, çok sıcak, neredeyse mum gibi 2700K'den keskin beyaz 6000K'e kadar değişen Kelvin sıcaklıklarında mevcuttur. Renkli LED'lerin dalga boyu genellikle 360 ile 940 nm arasındadır. LED'lerin "UV" ile "IR" arasındaki dalga boyu değerleri Şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2. LED spektral değerleri (Khan ve ark. 2015)

4. LED Solar Simülatör Çalışmaları

Solar simülatörlerde ışık kaynağı olarak LED kullanılmasına ilk kez 2003 yılında rastlanmaktadır. (Kohraku ve Kurokawa, 2003) LED solar simülatör simülasyonu ile fotovoltaik hücrelerde yeni ölçüm metotları üzerine çalışmalar yapmışlar, farklı ve çoklu LED'ler kullanarak spektral tepkilerini tahmin etmeye çalışmışlardır. (Kohraku ve Kurokawa, 2006) yaptıkları diğer bir çalışmada 4 renkli LED kullanarak tasarladıkları solar simülatöründe fotovoltaik hücrelerin ölçümlerini yapmış, AM 1,5 spektrumu altında güneş hücrelerinin I-V karakteristiklerindeki ölçümlerin dikkat çekici olduğunu ve LED simülatörlerin geliştirilip gelecekte kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. (Bliss ve ark., 2008) fotovoltaik cihazların karakteristik ölçümlerinde ışık kaynağı olarak LED kullanmanın avantajlarını araştırmış, LED'lerin AM 1,5 standartlarına uygun spektral değerlerinin mikro saniyeler seviyesinde hızlı kontrol edilebildiğini, düşük maliyeti, uzun ömrü ve kalibrasyon kolaylığıyla gelecekte solar simülatörlerde kullanılacak ışık kaynakları arasında güçlü bir aday olduğunu belirtmişlerdir. (Tsuno ve

ark., 2008) solar simülatörde LED'lerin yetenekleri üzerinden yeni bir yaklaşımda bulunmuşlar ve LED'lerin konvansiyonel ışık kaynaklarına göre, daha verimli, daha parlak bir ışık kaynağı olduğunu, uzun ömür ve her geçen gün düşen maliyeti açısından kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır. (Krebs ve ark., 2011) geometrik şekillerinin ayarlanabildiği lambalarla kendini kalibre eden bir LED tabanlı solar simülatör uygulaması gerçekleştirmişlerdir. (Kolberg ve ark., 2011) genişletilmiş ultraviyole ve kızılötesi spektral değerlerin LED solar simülatörde AM 1,5 standartlarıyla eşleştirme çalışması yapmışlardır. (Kolberg ve ark., 2012) önceki çalışmalarını geliştirerek solar simülatörde LED etkisini artırmışlar, gerçek gün ışığı değerlerine yakın ölçümler yapmışlardır. Güneşin AM 1,5 G spektrum değerleri ile uyuşan ölçümlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile LED tabanlı solar simülatörlerin spektral değerlerinin ayarlanıp güneş spektrum değerlerinin %100'e yakın olarak elde etmişlerdir. (Plyta ve ark., 2013) LED solar simülatörün potansiyelini inceleyerek LED ışık kaynağının ilk olarak güçlü bir şekilde optik ışık toplama verimliliğine sahip olduğu ve kolimasyonu en üst seviyeye çıkardığını, ikinci olarak ise LED'lerin dalga boylarının A sınıfı bir simülatör için uygun ve ışığın homojen dağılımın gayet iyi seviyede olduğunu belirtmişlerdir. (Linden ve ark., 2014) spektrumu ayarlanabilir, imalatı kolaylaştıran ve modüler tasarıma dayalı bir LED solar simülatör geliştirmişlerdir. Bu simülatörde isteğe bağlı olarak tek hücreli veya çok hücreli fotovoltaik cihaz kullanmışlardır. Geliştirdikleri simülatörün, aydınlatma bütünlüğü ve spektral özellikleri ile A+ performansa sahip olduğunu göstermişlerdir. (Watjenatepin, 2017) yaptığı çalışmada altı farklı dalga boyunda, yüksek güç LED'lerine sahip bir solar simülatör tasarlamıştır ve uygun sayıda LED kullanımıyla orta büyüklükteki bir fotovoltaik cihaz üzerinde uygun bir test yapılabileceğini belirtmiştir. Günümüze daha yakın çalışmalar incelendiğinde; (Esen ve ark., 2020) çalışmalarında 6 farklı dalgaboyu içeren 24 adet LED ile performans kriterlerinin üçünde de A sınıfını yakalamışlardır. (Tavakoli ve ark., 2020) yaptıkları çalışmada 19 farklı dalga boyuna sahip yüksek güçlü LED'ler ile 2,3 x 2,3 test düzleminde performans kriterlerinin ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada spektral aralığın UV bölgesi genişletilmiş 250-1100 nm arası dalga boyunda çalışılmıştır. (Al-Ahmad ve ark., 2022) altıgen şeklinde test düzlemine sahip solar simülatörlerinde 10 farklı dalga boyunda LED kullanmış, 70 cm² test alanında AAA sınıfını elde etmişlerdir. Aynı zamanda bu çalışmada tasarlanan solar simülatörün düşük maliyetli olduğunu ifade etmişlerdir. (Sun et al. 2022; Esen ve ark., 2022) diğer çalışmalardan farklı olarak fotovoltaik cihazları hücre bazında değil panel bazında test edebilen büyük ölçekli ve aktif soğutma sistemli bir solar simülatör geliştirerek her üç performans kriterinde de A sınıfını yakalamışlardır.

5. LED Solar Simülatör Standartları

ASTM E927-10 ve IEC 60904-9 standartlarına göre LED solar simülatörlerin simülasyon performansları A sınıfı, B sınıfı ve C sınıfı olmak üzere üç sınıfta tanımlanmıştır (Georgescu ve ark., 2008). Kriterleri en yüksek olan sınıf A iken en düşük olan ise C sınıfıdır. Bu sınıflandırmalarda

spektral eşleşme (spectral match), uzamsal uyumsuzluk (spatial non-uniformity) ve zamansal istikrarsızlık (temporal instability) olmak üzere üç ana kriter belirtilmiştir (Kim ve ark., 2014). Bu üç performans kriterinde de A sınıfında olan solar simülatörler AAA sınıfı olarak nitelendirilmektedirler. Bu kriterler Tablo 3’te gösterilmiştir (Grandi ve Ienina, 2013; Sun ve ark., 2022). ASTM E927-10 ve IEC 60904-9 standartlarına göre kriterlerden biri olan spektral eşleşmeyi belirlemek için LED ışık kaynaklı solar simülatörlerde 400 - 1100 nm spektrum bölgesi altı dalga boyu bandına bölünmüştür (Vosylius ve ark., 2022). Bu bantların her biri, toplam entegre ışımanın belirli bir yüzdesini içerir. Spektral Eşleşme, ilgili dalga boyu aralığı boyunca düşen ışığın gerçek yüzdesinin gerekli ışıma yüzdesine oranı olarak hesaplanır (Denklem 2).

Denklem 3’teki $S(\lambda)$ ışık kaynağının spektral ışımasıdır. Spektral ışıma, ışığın dalga boyunun bir fonksiyonu olarak dağılımıdır. λ_n ilgili dalga boyu aralığının başlangıç noktasını, λ_{n+1} ise bitiş noktasını ifade eder. Spektral eşleşmenin solar simülatörde kullanılan ışık kaynağı ile doğrudan ilgili olduğu açıktır. Kaynağın spektral ışıması, AM1.5G referans spektral ışımasıyla eşleşiyorsa, spektrum mükemmel şekilde eşleştirilecektir. Beklenen spektral ışımayı simüle etme yeteneği, bir solar simülatörün tasarımına büyük ölçüde yardımcı olacaktır.

Tablo 4’te dalga boyu aralıklarında farklı AM faktörleri için solar simülatörlerde gereken ışıma yüzdeleri verilmiştir (Bazzi ve ark., 2012; Watjanatepin ve ark., 2022).

Tablo 3. Solar simülatör performans sınıflandırması (Bazzi ve ark., 2012)

PERFORMANS KRİTERLERİ	STANDARTLAR	
	ASTM	IEC
<i>Spektral Eşleşme</i>		
A Sınıfı	0.75 - 1.25	0.75 - 1.25
B Sınıfı	0.6 - 1.4	0.6 - 1.4
C Sınıfı	0.4 - 2.0	0.4 - 2.0
<i>Uzamsal Uyumsuzluk</i>		
A Sınıfı	≤ 3%	≤ 2%
B Sınıfı	≤ 5%	≤ 5%
C Sınıfı	≤ 10%	≤ 10%
<i>Zamansal İstikrarsızlık</i>		
A Sınıfı	≤ 2%	≤ 2%
B Sınıfı	≤ 5%	≤ 5%
C Sınıfı	≤ 10%	≤ 10%

$$SM = \frac{\text{Aralıktaki gerçek ışıma yüzdesi}}{\text{Aralıktaki gerekli ışıma yüzdesi}} \quad (2)$$

$$\text{Aralıktaki gerçek ışınım yüzdesi} = \frac{\int_{\lambda_n}^{\lambda_{n+1}} S(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{1100} S(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

Tablo 4. Toplam ışıma yüzdeleri (Bazzi ve ark., 2012; Watjanatepin ve ark.,2022)

TOPLAM IŞIMA YÜZDELERİ			
DALGA BOYU (nm)	AM1.5D	AM1.5G	AM0
300 - 400	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	8.0%
400 - 500	16.9%	18.4%	16.4%
500 - 600	19.7%	19.9%	16.3%
600 - 700	18.5%	18.4%	13.9%
700 - 800	15.2%	14.9%	11.2%
800 - 900	12.9%	12.5%	9.0%
900 - 1100	16.8%	15.9%	13.1%
1100 -1400	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	12.2%

Uzamsal uyumsuzluk (SNU=Spatial Non Uniformity), belirli noktalarda, özellikle geniş yüzey alanlarına sahip simülatorlerde, hücre performans testlerini ve tekrarlamaya ihtiyacı etkileyen ışığın yoğunlaşması nedeniyle sağlanması en zor performans kriteridir. SNU, Denklem 4 ile hesaplanır. Bu denklemde E_{max} , ışığın en yoğun olduğu noktanın değerini, E_{min} ise ışığın en düşük olduğu noktanın değerini ifade eder.

$$SNU = \frac{E_{max}-E_{min}}{E_{max}+E_{min}} \times \% 100 \quad (4)$$

Üçüncü ve son performans kriteri ise zamansal istikrarsızlıktır. Bu test ölçüme direkt etki etmeyecektir ancak ışığın zamanla değişimini belirlemek için kullanılır. IEC 60904-9 standardına göre bu test kısa ve uzun vadeli olmak üzere iki aşamada yapılmalıdır. Bu performans kriterini belirlemek için yine Denklem 2.8 kullanılır ancak bu testte ışık tek bir noktadan belirli zaman aralıklarında ölçülür. En yoğun ve en düşük ışık noktaya göre değil zaman göre belirlenir.

2003 yılında başlayan LED ışık kaynaklı güneş simülatörü çalışmaları yeni bir dönem açmış ve LED'lerin kullanıldığı çeşitli çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır. LED'ler uygun maliyetli ve uzun ömürlü oldukları için xenon ark lambalarına göre daha çok tercih edilmektedirler. 2011 yılı itibari ile süper continuum lazerlerle yapılan güneş simülatörleri öne çıkmaya başlamıştır. Süper sürekli lazerler, xenon ark lambalarına ve LED'lere alternatif olma potansiyeline sahiptir. LED'lerin doğrudan ulaşamayacağı UV ve IR spektral değerleri kapsadıkları için gelecekteki uygulamalarda kullanılacak ışık kaynağıdır. Bununla birlikte, bazı dezavantajları da vardır. Örneğin, düşük ışık

açıları nedeniyle sadece küçük alanlarda güneş spektrumunu simüle edebilirler ve kontrol devreleri karmaşıktır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, ışık kaynakları avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak kullanım amaçlarına göre seçilmişlerdir. Bazı çalışmalarda, araştırmacılar, ana ışık kaynağının verimsiz yönlerini aşarak ikinci bir ışık kaynağı kullanmışlardır. Tablo 5, ışık kaynaklarının daha kolay karşılaştırılması için avantajlarını ve dezavantajlarını özetlemektedir.

Tablo 5. Işık kaynaklarının karşılaştırılması (Esen ve ark., 2017)

IŞIK KAYNAĞI	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Karbon Ark Lambası	AM 0 ile uyum Erken dönem uzay solar simülatörleri için uygunluk	Sınırlı dalga boyu Kararsızlık Kısa ömür
Yüksek Basınçlı Sodyum Buhar Lambası	Yüksek verim Uzun ömür Geniş spektral aralık	Yüksek maliyet Güç regülasyonu için yardımcı elektronik eleman ihtiyacı
Argon Ark Lambası	Geniş spektral aralık	Optik filtre ihtiyacı
Kuvars-Tungsten Halojen Lamba	Yüksek ışık yoğunluğu Düşük maliyet Doğal güneş ışığına yakın spektral aralık	Aşırı ısınma
Mercury Xenon Lamba	Geniş spektral aralık Keskin ve yoğun UV spektrumu	Yüksek güç tüketimi Bakım ihtiyacı Kısa ömür
Xenon Ark Lambası	Yüksek güç çıkışı Kararlılık Doğal güneş ışığına yakın spektral aralık	Yüksek güç tüketimi Bakım ihtiyacı Kısa ömür
Xenon Flaş Lambası	Kısa sürede konsantrasyon Düşük ısı Kararlılık	Optik filtre ihtiyacı Yüksek maliyet
Metal Halide Lamba	Düşük maliyet Yüksek ışık yoğunluğu	Yüksek güç tüketimi Kısa ömür Yardımcı elektronik eleman maliyeti
LED	Düşük maliyet Düşük güç tüketimi Uzun ömür	Limitli spektral aralık (350-1100 nm)
Süper Continuum Lazer	Yüksek güç Geniş bant aralığı	Dar spektrum

6. Sonuç

Fotovoltaik cihazların testi için 1960'lardan günümüze kadar uzanan solar simülatör çalışmalarında, bilim insanları güneş ışığını simüle etmek için birbirinden farklı birçok ışık kaynağını tercih etmiştir. Bu seçimlerde, günün teknolojik koşullarının elverdiği ölçüde, spektrum aralığı, ömür,

fiyat, düşük ısı, kullanım kolaylığı gibi çok sayıda etkiyi göz önünde bulundurmuşlardır. Günümüze kadar solar simülatörlerde kullanılan ışık kaynaklarının hepsinin belirli avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tüm literatüre bakıldığında konvansiyonel ışık kaynakları arasında Xenon ve Halojen lambaların kullanımın öne çıktığı, günümüze yaklaştıkça LED ışık kaynağının tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada, solar simülatör çalışmalarında kullanılan ışık kaynakları incelenerek LED ışık kaynaklı solar simülatörlere odaklanılmıştır.

LED'ler konvansiyonel ışık kaynaklarına göre birçok avantaja sahiptir:

-Solar simülatörlerde istenilen spektrum değerlerine ulaşabilmek için mikro saniyeler mertebesinde hassas bir şekilde kontrol edilebilirler.

-Çeşitli yazılımlar ve mikroişlemciler kullanılarak LED'lerin ışığı uzun süre sabit tutulabilir.

-Tek tek olduğu gibi grup halinde de kontrol edilebilirler.

-Konvansiyonel ışık kaynaklarına göre daha düşük gerilimlerde çalıştıkları için elektriksel olarak daha verimli ve daha güvenlidirler.

-Teknolojileri geliştikçe cevap verme süreleri artacağından solar simülatör flaş testlerinde de kullanılabilirler.

-Isınma problemleri minimum düzeydedir.

-Çalışma süreleri 40000 saate kadar çıkabilir.

-Maliyetleri konvansiyonel ışık kaynaklarına göre daha düşüktür.

-Zararlı UVC ışını yaymadıklarından çevre dostudurlar.

-Solar simülatörlerde fotovoltaik cihaz testleri için belirlenen 1000 W/m^2 ışınım şiddetine ulaşabilirler ve performans kriterlerini AAA sınıfında sağlayabilirler.

Tüm bu avantajlarından dolayı ve üretim teknolojileri geliştikçe ultraviyolede kızılötesine kadar dalga boyu skalasının genişlemesiyle daha geniş kullanım alanına sahip olmaya başlayan LED'ler gelecekte de solar simülatörler için önemli ışık kaynağı olmaya devam edeceklerdir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Al-Ahmad AY., Clark D., Holdsworth JL., Vaughan B., Belcher WJ., Dastoor PC. An economic led solar simulator design. IEEE Journal of Photovoltaics 2022; 12(2): 521–525.

Alagöz İ. Rüzgâr elektrik santrallerinin kontrolü için kullanılacak doğrulamalı kod

- kütüphanesi geliştirilmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2021; 8(2):841–858.
- Alxneit I. Measuring temperatures in a high concentration solar simulator – demonstration of the principle. *Solar Energy* 2011; 85(3): 516–522.
- Barış K., Küçükali S. Availability of renewable energy sources in turkey: current situation, potential, government policies and the eu perspective. *Energy Policy* 2012; 42: 377–391.
- Bazzi AM., Klein Z., Sweeney M., Kroeger KP., Shenoy PS, Krein PT. Solid-state solar simulator. *IEEE Transactions on Industry Applications* 2012; 48(4): 1195–1202.
- Bliss M., Betts TR., Gottschalg R. Advantages in using leds as the main light source in solar simulators for measuring pv device characteristics. *Proc. SPIE 7048, Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components, and Systems, 704807* 10 September 2008, San Diego, California, United States
- Bliss M., Wendlandt S., Betts TR., Gottschalg R. Towards a higher power, all led solar simulator closely matching realistic solar spectra. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, sayfa no: 3321-3326, Hamburg, Germany.*
- Brandhorst H., Hickey J., Curtis H., Ralph E. Interim solar cell testing procedures for terrestrial applications. 1975. No. TID-26871
- Codd DS., Carlson A., Rees J., Slocum AH. A low cost high flux solar simulator. *Solar Energy* 2010; 84(12): 2202–2012.
- Çapık M., Yılmaz AO., Çavuşoğlu İ. Present situation and potential role of renewable energy in turkey. *Renewable Energy* 2012; 46: 1–13.
- Dennis T., Schlager JB., Bertness KA. A novel solar simulator based on a supercontinuum laser for solar cell device and materials characterization 2014. *IEEE Journal of Photovoltaics* 4(4): 1119–1127.
- Dennis T., Schlager JB., Yuan HC., Wang Q., Friedman D. A novel solar simulator based on a super-continuum laser. *38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, sayfa no: 1845-1848, 2012, Austin, Teksas.*
- Ekman BM., Geoffrey Brooks G., Rhamdhani MA. Development of high flux solar simulators for solar thermal research. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2015; 141: 436–446.
- Esen V., Sağlam Ş., Oral B. Light sources of solar simulators for photovoltaic devices: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 77: 1240–1250.
- Esen V., Sağlam Ş., Oral B., Esen ÖC. Spectrum measurement of variable irradiance controlled led-based solar simulator. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* 2020; 10(1): 109–116.

- Esen V., Sağlam Ş., Oral B., Esen ÖC. Toward class aaa led large scale solar simulator with active cooling system for pv module tests. *IEEE Journal of Photovoltaics* 2022; 12(1): 364–371.
- Georgescu A., Damache G., Gîrţu MA. Class a small area solar simulator for dye-sensitized solar cell testing. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 2008; 10(11): 3003–3007.
- Gök SG., Kavasoglu R. The renewable energy policy of turkey. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, IEEE 2013; 1334-1339.
- Grandi G., Ienina A. Analysis and realization of a low-cost hybrid led-halogen solar simulator .International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE. sayfa no: 794-799, 2013.
- Hakki HK., Allahyari S. Intensification of photocatalytic wastewater treatment using a novel continuous microcapillary photoreactor irradiated by visible led lights. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification* 2022; 175: 108937.
- Irwan YM., Leow WZ., Irwanto M., Amelia R., Gomesh N., Safwati I. Indoor test performance of pv panel through water cooling method. *Energy Procedia* 2015; 79: 604–611.
- Khan TQ., Bodrogi P., Vinh QT., Winkler H. Led lighting: technology and perception. John Wiley & Sons. 2015.
- Kim KA., Dostart N., Huynh J., Krein PT. Low-cost solar simulator design for multi-junction solar cells in space applications. Power and Energy Conference at Illinois (PECI). IEEE, sayfa no: 1-6, 2014.
- Kohraku S., Kurokawa K. New methods for solar cells measurement by led solar simulator. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, sayfa no: 1977-1980, 2003.
- Kohraku S., Kurokawa K. A fundamental experiment for discrete-wavelength led solar simulator. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2006; 90(18–19): 3364–3370.
- Kolberg D., Schubert F., Klameth K., Spinner DM. Homogeneity and lifetime performance of a tunable close match led solar simulator. *Energy Procedia* 2012; 27: 306–311.
- Kolberg D., Schubert F., Lontke N., Zwigart A., Spinner DM. Development of tunable close match led solar simulator with extended spectral range to uv and ir. *Energy Procedia* 2011; 8: 100–105.
- Krebs FC., Sylvester-Hvid KO., Jørgensen M. A self-calibrating led-based solar test platform. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2011; 19(1): 97–112.
- Krusi P., Schmid R. The cs1 1000 w lamp as a source for solar radiation simulation. *Solar*

- Energy 1983; 30(5): 455–462.
- Liao CH., Ou HH., Lo SL., Chiueh PT., Yu YH. A challenging approach for renewable energy market development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15(1): 787–793.
- Linden KJ., Neal WR., Serreze HB. Adjustable spectrum led solar simulator. *Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XVIII*, 2014, California, United States
- Novickovas A., Baguckis A., Mekys A., Tamosiunas V. Compact light-emitting diode-based aaa class solar simulator: design and application peculiarities. *IEEE Journal of Photovoltaics* 2015; 5(4): 1137–1142.
- Öcal O., Aslan A. Renewable energy consumption–economic growth nexus in turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 28: 494–499.
- Plyta F., Betts TR., Gottschalg R. Potential for led solar simulators. *IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, sayfa no: 701-705, 2013.
- PV Education, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass> (Erişim tarihi: 03.05.2022)
- Sun C., Jin Z., Song Y., Chen Y. Led-based solar simulator for terrestrial solar spectra and orientations. *Solar Energy* 2022; 233: 96–110.
- Tavakoli M., Jahantigh F., Zarookian H. Adjustable high-power-led solar simulator with extended spectrum in uv region. *Solar Energy*. 2020; 220: 1130-1136
- Tawfik M., Xavier Tonnellier X., Sansom C. Light source selection for a solar simulator for thermal applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 90: 802–813.
- Tsuno Y., Kamisako K., Kurokawa K. New generation of pv module rating by led solar simulator - a novel approach and its capabilities. *33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, sayfa no: 1-5, 2008.
- Tükenmez M., Demireli E. Renewable energy policy in turkey with the new legal regulations. *Renewable Energy* 2012; 39(1): 1–9.
- Twidell J., Weir T. *Renewable energy resources*. 2015 Routledge.
- Vosylius Z., Noviçkovas A., Laurinavičius K., Tamošiūnas V. Rational Design of scalable solar simulators with arrays of light-emitting diodes and double reflectors. *IEEE Journal of Photovoltaics* 2022; 12(2): 512–520.
- Wang W., Laumert B. *Simulate a ‘sun’ for solar research: A Literature Review of Solar Simulator Technology* 2014.

- Watjanatepin N., Sritanauthaikorn P. Rectangular module for large scale solar simulator based on high-powered leds array. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 2022; 20(2): 462–474.
- Watjenatepin N. Design construct and evaluation of six-spectral leds-based solar simulator based on iec 60904–9. *International Journal of Engineering and Technology* 2017. 9.
- Xu J., Woodyard JR. Investigation of carbon arc source as an am0 solar simulator for use in characterizing multijunction solar cells. *Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp:1324-27, 2000.



Adana Çimento Çaldağ Hammadde Sahasında Yapılan Basamak Patlatmalarının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi

Esma KAHRAMAN^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-4326-7202>

*Sorumlu yazar: ekahraman@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.03.2022

Kabul tarihi: 15.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Adana Çimento

Delme-patlatma

Kaya savrulması

Hava şoku

Titreşim

ÖZ

Patlatmanın neden olduğu çevresel etkiler, madencilik ve inşaat sektörünün temel sorunlarından biridir ve yakındaki yapılara ciddi zararlar verebilir. Bu nedenle madenlerde patlatmanın çevresel etkilerinin en aza indirilmesinde titreşim, hava şoku (gürültü) ve kaya savrulması çalışmaları önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada; hammadde sahasında basamak patlatması sırasında meydana gelen titreşim, hava şoku (gürültü) ve kaya savrulması etkileri gözlemlenmiş ve hammadde sahasına en yakın yerleşim birimleri olan Adana Çimento fabrikası ile diğer yapıların ne ölçüde etkilendiği araştırılmıştır. Bu bağlamda titreşim, gürültü ve taş savrulması için ölçümler yapılmıştır. Ayrıca; çalışma sahasında gerçekleştirilen basamak patlatmaları ile oluşan çevresel etkiler mevcut mevzuatlara göre değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda sahada gerçekleştirilen patlatmanın fabrika ve çevre yerleşimlere olumsuz bir etkisinin olmayacağı kanaatine varılmıştır.

Investigation of Environmental Effect of Bench Blasting in Adana Cement Çaldağ Raw Material Field

Research Article

Article History:

Received: 18.03.2022

Accepted: 15.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Adana Cement

Drilling-blasting

Flyrock

Air pressure

Vibration

ABSTRACT

Environmental effects induced by blasting are one of the fundamental problems in the mining and construction industry and may cause severe damage to structures nearby. Therefore, vibration flyrock, air pressure (noise), studies plays an important role in the minimization of environmental effects of blasting in mines. In this study; vibration, air shock (noise) and fly-rock impacts occurring during bench blasting in raw material site have been observed and it has been researched also to what extent Adana Cement factory and other structures, which are the nearest settlements to the raw material site, were affected. In this context, vibration, air pressure (noise) and flyrock were measured. Also; The environmental impacts caused by the step blasting carried out in the study area were evaluated according to the current legislation. As a result of the study, it was concluded that the blasting carried out in the field will not have a negative effect on the factory and surrounding settlements.

To Cite: Kahraman E. Adana Çimento Çaldağ Hammadde Sahasında Yapılan Basamak Patlatmalarının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1453-1467.

1. Giriş

Delme ve patlatma, madencilik operasyonlarının yanı sıra tünel ve yol inşaatı gibi bazı inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir kaya parçalama tekniğidir. Kazı ve üretim açısından en ekonomik ve en hızlı yöntem delme patlatmadır.

Patlatma, patlayıcı maddelerin kimyasal reaksiyona girerek şok dalgası oluşturmasıdır. Patlatma sırasında kimyasal reaksiyon süpersonik hızda ilerler ve patlayıcının kayaca etkisi kısaca üç aşamada gerçekleşir (Orica-Nitro, 2006). İlk olarak ateşlemenin başlaması ile beraber delik çevresi kırılarak genişlemeye başlar. İkinci aşamada ise ses hızına ulaşan stres dalgaları tüm yönlerde yayılmaya başlayarak serbest yüzeyden yansır ve bir çekme kuvveti oluşur. Böylece kayaç serbest yüzeye doğru kırılmaya başlar. Son aşamada ise; patlatma sonrası oluşan yüksek basınç ve hacimdeki gazlar çatlaklara dolarak kayacı serbest yüzeye doğru öterler. Tüm bu işlemler gerçekleşirken patlatma enerjisinin belirli bir kısmı parçalanmayı sağlar. Atık enerji olarak değerlendirdiğimiz kısım ise titreşim, gürültü gibi patlatmanın istenmeyen çevresel etkilerine sebep olur (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005).

Madencilik faaliyetleri hammaddenin bulunduğu yerde gerçekleşmek zorundadır. Hatta bazı durumlarda çalışma sahası yerleşim yerleri ve tarihi yapılara oldukça yakınlaşmaktadır. Bu durumda; üretimin temel işlemi olan delme patlatma faaliyetlerinden kaynaklı çevresel etkileri değerlendirilerek en uygun patlatma tasarımını belirlemek gerekmektedir (Bilgin ve ark., 2000; Chen ve Huang, 2001; Adhikari ve ark., 2004; Cihangir ve ark., 2005; Kahraman ve Kılıç, 2016). Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda hem çevre halkının şikayetleri artacak hem de yapılarda zararlar meydana gelecektir.

Bu çalışmada hammadde sahasının fabrikaya yakın olmasından dolayı Adana Çimento Çaldağ taşocağında yapılan patlatmalar incelenmiş, ölçümler alınmış ve bu patlatmaların üretim tesisleri ile çevredeki diğer yerleşim yerlerinde oluşabilecek çevresel etkileri, “T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı” “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzuna (ÇŞB, 2018)” göre hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

2. Patlatmanın Çevresel Etkileri

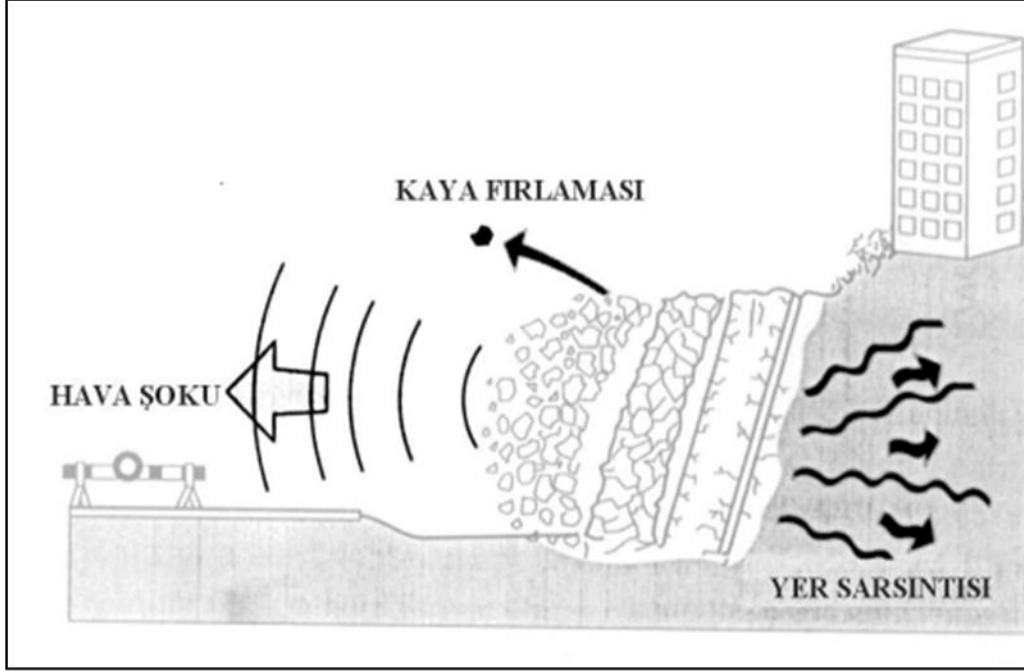
Üretim veya kazı amaçlı yaptığımız patlatmaların amacı kayayı kırarak gevşetmektir. Bu işlem gerçekleşirken yaratacağı çevresel etkileri en aza indirmek gerekmektedir.

Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler; patlatma sırasında ortaya çıkan enerjinin parçalanma işlemlerini gerçekleştirdikten sonra geriye kalan kısmının kaya içerisindeki veya atmosferdeki hareketlerinden kaynaklanmaktadır (Yıldızlar, 2009).

Çevresel etkinin azaltılması ancak en uygun patlatma tasarımı uygulanarak ve patlayıcı enerjisini verimli bir şekilde kullanarak sağlanacaktır. Dizaynı iyi yapılmamış bir patlatma düzeni verimsiz bir patlatmaya sebep olacaktır. Bunun sonucunda; yetersiz parçalanma, patlatılan kayanın gerisinde oluşan çatlaklar, tırnak oluşumu, kaya savrulması, yüksek düzeyde yer sarsıntısı ve hava şoku gibi

olumsuzluklar gözlenecektir (Fellice, 1993; Johnston ve Durucan, 1994; Singh ve ark., 1996; Kesimal ve ark., 2008). Bilinen en önemli patlatma kaynaklı çevresel etkiler;

- Yer titreşimi,
- Hava şoku,
- Kaya savrulması ve
- Toz emisyonu olarak sıralanabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Patlatma kaynaklı çevresel etkiler (Yıldızlar, 2009)

2.1. Yer Titreşimi

Kaya kütlesi içerisinde patlatma etkisi ile kaya kütesinin dayanımını ve elastik sınırlarını aşan bir enerji oluşur, kütle parçalanmaya başlar ve mevcut enerji giderek tükenerek kaya kütesinin parçalanma eylemi sona ermektedir. Geriye kalan enerji, kayanın elastik limitlerinin altında kaldığı için ancak kaya kütesindeki parçacıkların şekil değiştirmesine sebep olabilecek düzeydedir. Söz konusu elastik deformasyon ile birlikte mevcut enerji parçacıkların birinden bir diğerine iletilmesi ile uzaklığa bağlı olarak sönümlenmektedir. Sismik dalgalar şeklinde, zeminde denge halinde bulunan parçacıkların denge konumlarını bozarak birbirlerine iletmesi ile yayılan enerji patlatma kaynaklı titreşim etkisi olarak nitelendirilmektedir (Yıldızlar, 2009). Patlatma kaynaklı titreşimlerin deprem ile benzer etkiler gösterdiği için çevre halkını ve çevredeki yapıları olumsuz etkilemektedir.

2.2. Hava Şoku (Gürültü)

Patlama esnasında oluşan basınç dalgaları şeklinde açıklanabilmektedir. Patlatma sırasında meydana gelen reaksiyonlar neticesinde oluşan gazların kayalarda bulunan çatlaklardan atmosfere hızla ve erken boşalmasından kaynaklanan yoğun bir gürültü oluşmaktadır. Söz konusu eylemin gerçekleşmesine

karşı bir önlem alınmadığı takdirde oluşan hava şoku dalgalarının boyutu önemli seviyelere ulaşabilmektedir. Bu durum patlatma yapılan bölgedeki yerleşim yerlerini etkileyecektir.

2.3. Kaya Savrulması

Patlayıcı maddelerin kaya kütlesi içerisinde iyi bir şekilde hapsedilemediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde ateşleme sonrası oluşan ya da mevcut süreksizlikler üzerinde, gerilme çatlaklarına ve açılmalara neden olarak beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir (Özdemir ve ark., 2003; Kahrıman ve ark., 2006). Hareketlenen kayaç çevrede tehlike yaratacaktır.

2.4. Toz Emisyonu

Patlatma işlemi sırasında kaya kütlesinin kırılma işlemi ateşleme ile birlikte başlamakta ve büyük kaya kütleleri hareketlenmekte ve böylece kaya kütleleri arasında iç öğütme gerçekleşmektedir. Söz konusu iç öğütme ile kendisinden hâsıl oldukları kütle ile aynı bileşimde olan veya olmayan, hava içerisinde dağılma ve yayılma özelliği gösteren parçacıklardan oluşan toz emisyonu meydana gelmektedir. Oluşan iç öğütme nedeniyle az da olsa bir miktar toz emisyonunun meydana gelmesi kaçınılmaz bir durumdur (Kahrıman ve ark., 2006).

3. Adana Çimento Sanayi Çaldağ Hammadde Sahası Hakkında Genel Bilgiler

Çalışma kapsamında Adana Çimento Çaldağ hammadde sahasında yapılan patlatmaların çevresel etkileri incelenmiştir. Saha hakkında bilgiler ve çevresel etki değerlendirme yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

3.1. Çalışma Sahasının Konumu

Adana Çimento Sanayi (AÇS)'ye ait Çaldağ hammadde sahası Adana-Ceyhan Karayolu 12. km İncirlik mevkiinde, çimento üretiminin yapıldığı fabrika ile aynı bölgede yer almaktadır (Şekil 2).

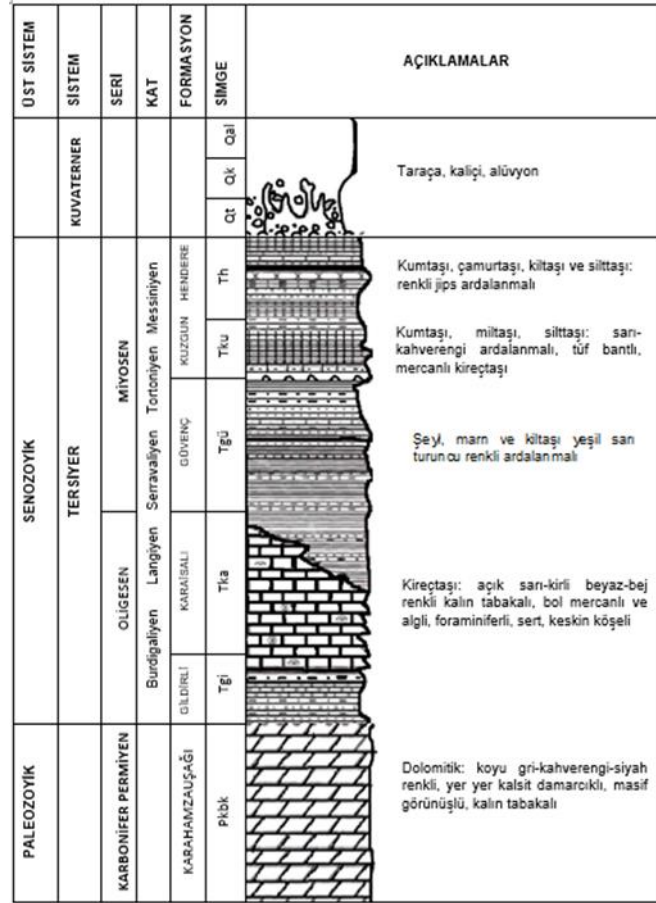


Şekil 2. AÇS hammadde sahasına ait yer bulduru haritası

3.2. Çalışma Sahasının Jeolojisi

İnceleme alanında formasyon resif ilerisi (resif önü) kesiminde silttaşı ve kilttaşları, resif çatısında (resif çekirdeği) genellikle kireçtaşları, lagün (resif gerisi) kesiminde iyi boylanmalı kumtaşı, yeşilimsi mavi renkli kiltası–marn, killi kireçtaşlarından oluşan litolojiler sunmaktadır (Kahraman ve Kılıç, 2020) (Şekil 3).

Sahada Kuzgun formasyonu resifal özellikte gelişmiştir. Genç resif oluşumunun resifal ortamının resif gerisi–lagün, resif çatısı ve resif önü fasiyeslerde geçişler mevcuttur. Stratigrafik birim olarak bulunan Kuzgun formasyonunu oluşturan litolojik birimler kalker, killi kalker, kil, kiltası, marn, siltası ve kumtaşıdır. Bu birimlerin tabaka eğimleri $0-5^{\circ}$ olup doğuya doğru eğimlidirler. Tabakaların doğrultuları Kuzey-Güney yönündedir (Alkan, 2007).



Şekil 3. AÇS hammadde sahası civarının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Alkan, 2007)

3.3. Çalışma Sahasında Uygulanan Patlatma Parametreleri

Çalışma sahasında uygulanan basamak patlatması parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Delik sayısı patlatma yapılacak bölgenin durumuna göre patlatma sırasında değişkenlik gösterebilmektedir.

Tablo 1. Çalışma sahası patlatma parametreleri

Patlatma Parametresi	Durum
Delik Düzeni	Şeşbeş
Delik Çapı	89 mm
Delik Sayısı	50-100 adet
Delik Boyu (H)	9 m
Delikler Arası Mesafe (S)	3 m
Basamak Yüksekliği K (m)	8,5 m
Taban tırnak payı (U)	0,5 m
Dilim Kalınlığı (B)	3,5 m
Sıkılama Boyu (ho)	3 m
Patlayıcı Madde	ANFO
Yemleme	Jelatinit Dinamit
Kapsül	Gecikmeli Elektriksiz
Dinamit miktarı	0,5 kg/delik
AN-FO Miktarı	30 kg/delik
Toplam Patlayıcı Miktarı	30,5 kg/delik

4. Kontrollü Patlatma Sonucunda Oluşması Muhtemel Çevresel Etkilerin Hesaplanması, Ölçülmesi, Türkiye'deki Mevcut Yasa ve Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi

Adana Çimento A. Ş. Çaldağ hammadde sahası çevresinde çimento fabrikası, tali yol ve yerleşim yerleri bulunmaktadır. Sahaya en yakın yerler işaretlenmiş ve mesafeler ölçülmüştür (Tablo 2- Şekil 4).

Tablo 2. Patlatma noktalarının yerleşim yerlerine en yakın mesafeleri

Bölgeler	Mesafeler (m)
1. Bölge (Çimento Fabrikası)	148
2. Bölge (Yerleşim Bölgesi)	153
3. Bölge (Yerleşim Bölgesi)	162
4. Bölge (Üçok Damgalı Höyüğü Yolu)	250



Şekil 4. Çalışma sahasının çevre yapılara olan uzaklıkları

Patlatma faaliyetinin gerçekleştirileceği çalışma sahası “Taşocağı (Kireçtaşı Formasyonu)” olarak faaliyet göstermektedir. Bu durumda çevresel etkiler değerlendirilirken; “T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü’nün” (ÇŞB, 2018) “Uluslararası Patlatma Mühendisleri Derneği” tarafından hazırlanmış “Patlatma El Kitabı’ndan (ISEE, 2011)” yararlanarak hazırladığı “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu” kullanılmıştır. Kılavuzda verilen tablolardan taşocağı için belirtilen denklemler kullanılmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan denklemlerde SD (ölçekli mesafe) ana değişkendir ve mesafe (D)’nin uygulamada anlık patlatılan toplam patlayıcı madde miktarının kareköküne bölümü ile elde edilir.

Çalışma sahasında gerçekleştirilen üç farklı kontrollü patlatmadan kaynaklanan titreşim ve gürültü ölçümleri “Instantel Micromate” titreşim ve gürültü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. “Instantel Micromate” titreşim ve gürültü ölçüm cihazı

Çalışma sahasında 50 ile 100 arasında değişkenlik gösteren delik sayısı kullanılmaktadır. Her bir deliğe 30 kg AN-FO+0,5 kg dinamit olmak üzere 30,5 kg patlayıcı madde konulmaktadır. Delik içinde 25/500 ms, yüzeyde 42 ms’lik gecikmeli elektriksiz kapsül (Non Electric) yardımıyla patlatma faaliyeti yapılmaktadır. Bu şekilde her bir delik tek başına patlatılmış olmaktadır ve maksimum anlık şarj toplam “30,5 kg (30 kg AN-FO+0,5 kg Dinamit)” olmaktadır.

4.1. Yer Titreşim Etkisinin Hesaplanması, Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM) Bülten 656’da yüzey madenciliğinden kaynaklanan yer titreşiminin çeşitli tasarımlardaki evlerin titreşimlere tepkileri açısından analiz edilmiş ve önceki çalışmalardan elde edilen veriler derlenerek titreşim hesabında kullanılmak üzere çalışma sahasına uygun denklemler geliştirmişlerdir (Nicholls ve ark., 1971). Bu çalışmalar ışığında patlatma sonucu oluşması muhtemel titreşim değeri, “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu’nda (ÇŞB, 2018)” yer alan “Patlatma Türü-Taşocağı” olarak belirtilen Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

$$PPV = 1.090 \times SD^{-1,82} \text{ [mm/s]} \quad (1)$$

Burada; PPV (maksimum tanecik hızı) titreşim seviyesi ve SD (ölçekli mesafe)’dir.

Çalışma kapsamında sahada 3 farklı patlatma izlenmiş ve farklı noktalarda Instantel Micromate titreşim ölçüm cihazı ile ölçümler alınmıştır. Ölçüm noktasının patlatma noktasına uzaklığı ve titreşim değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Patlatma sonucunda oluşması muhtemel “Yer Titreşim (Sarsıntı)” etkisinin belirlenmesi 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete de yayımlanarak yürürlüğe giren “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’nin (2010) “Yapılarda çevresel titreşim kriterleri”nde yer alan; çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslarda faaliyet alanlarına göre yapılan patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşimlerinin sınır değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre; sismik dalga hakim frekansı 1,0 (Hz) için; Yer Titreşim Değeri = 5,00 mm/s olmalıdır. Yapılması planlanan kontrollü patlatma faaliyetlerinden kaynaklı yer titreşim hızı değerinin hassas noktalarda 5,0 mm/s’den az olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 30,5 kg maksimum anlık şarj ve mesafeye bağlı hesaplanan yer titreşim değerleri

Mesafe (m)	Yer titreşim değerleri (mm/s)
10	369,94
25	69,80
50	19,77
100	5,59
148	2,74
153	2,58
162	2,32
200	1,58
250	1,05
300	0,75
400	0,44
500	0,29
600	0,21
700	0,16
800	0,12
900	0,10
1000	0,08

Tablo 4. Instantel Micromate titreşim ölçüm cihazı ile ölçülmüş yer titreşim değerleri

Mesafe (m)	Yer titreşim ölçüm sonucu (mm/s)
158,50	2,590
126,80	3,635
131,90	4,435

4.2. Hava Şoku (Gürültü) Etkisinin Hesaplanması, Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM) RI 8485 raporu, yapı tepkisi ve tarafından üretilen hasar yüzey madenciliğinden kaynaklı hava şoku (gürültü) yerleşik halkın gürültüye tepkilerini izlemek için verileri derlemiştir, yaklaşımlar geliştirmişler ve gürültü hesabında kullanılmak üzere denklemler geliştirmişlerdir (Siskind, 1980). Bu çalışmalar ışığında patlatma sonucu oluşması muhtemel gürültü

değerleri, “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu’nda (ÇŞB, 2018)” yer alan “Patlatma Türü Taşocağı” olarak belirtilen Denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

$$P = 37,1 \times SD^{-0.97} \text{ [dB(A)]} \quad (2)$$

Burada; P: hava şoku (gürültü) seviyesidir ve SD (ölçekli mesafe)’dir.

Ayrıca sahada 3 farklı patlatma izlemiş ve farklı noktalarda Instantel Micromate cihazı ile hava şoku ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 5. 30,5 kg maksimum anlık şarj ve mesafeye bağlı olarak hesaplanan hava şoku değerleri

Mesafeler (m)	Hava şoku değerleri dB (A)
10	155,69
25	147,96
50	142,12
100	136,28
148	132,98
153	132,70
162	132,22
200	130,44
250	128,65
300	127,02
400	124,60
500	122,72
600	121,18
700	119,89
800	118,76
900	117,77
1000	116,88

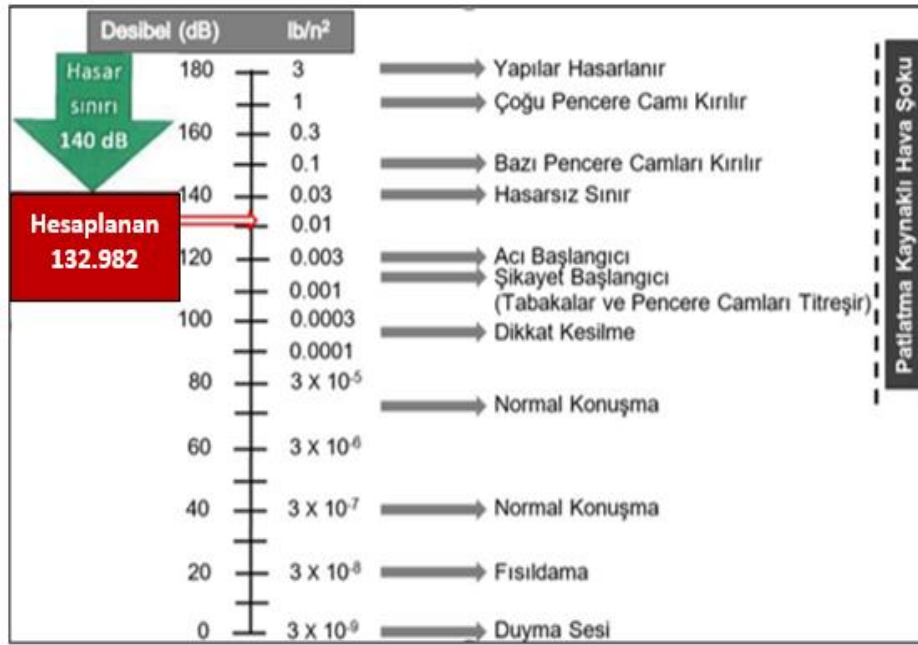
Tablo 6. Instantel Micromate titreşim ölçüm cihazı ile ölçülmüş hava şoku (gürültü) değerleri

Mesafeler (m)	Hava şoku değerleri dB (A)
158,50	121,289
126,80	127,669
131,90	143,355

Patlatma gürültüsünün “Düşük Frekans İçeriğinin” güçlü olması, birkaç saniye içinde “Patlatma Hava Şokunun (Gürültüsünün)” sonlanması ve yönetmelikte belirtilen gündüz çalışma süresi içerisinde %20’den daha az süreli olması dikkate alındığında; gürültü değerlendirmesinde L cetveli ve Amerika Birleşik Devletleri tüzüğünde verilen kabul edilebilir değerlerin esas alınması bilimsel çalışmalara, teknik incelemeler ve yönetmeliğe uygun bulunarak önerilmiştir. Buna göre çevresel etki değerlendirme kataloğunda izin verilen en yüksek gürültü düzeyin 133 dB(A) olarak verilmiştir. Hoek ve Bray (1981) tarafından bina hasarları için yapılan değerlendirmede ise 140dB (A)’ya kadar izin verilmektedir (Şekil 6).

İzlenen patlatmalarda alınan ölçümler sonucunda 131,90 m mesafede sınır değerin üzerinde bir hava şoku ölçülmüştür. Fakat ölçüm noktası 148 m olan en yakın yerleşim yeri mesafesinden daha yakındır. Bu nedenle gerçekleştirilen atım açısından bir problem teşkil etmemektedir. Bazı atımlarda hava şoku değerlerinin sınır değerden yüksek çıkma sebebinin ise özensiz sıkılama ve formasyon özelliklerinden kaynaklandığı öngörülmektedir.

Hesaplanan ve ölçülen Hava Şoku (Gürültü) Hasar Etkisi Değeri 148 m ve daha uzak mesafelerde 133 dB (A)'nın altında olacağından, 30,5 kg Maksimum Anlık Şarj Kullanılarak Kazı ve Gevşetme Amaçlı “Kontrollü Patlatma Yapılabilecek” ve “Herhangi Bir Olumsuz “Hava Şoku (Gürültü)” Etkisi Olmayacaktır.



Şekil 6. Hoek ve Bray'a (1981) göre hava şoku (gürültü) etki durumu

4.3. Kaya Savrulma Etkisinin Hesaplanması ve Değerlendirilmesi

Patlatma uygulanan alanlarda; çevresel etki değerlendirme ve proje tanıtım dosyalarında kontrollü şartlarda çalışılacağı taahhüt edildiğinden kaya savrulma mesafesi hesabında ölçekli gömme derinliği (SDOB_m) ile bağıntılı olan Denklem 3 kullanılarak hesaplanmaktadır. Ardından azami kaya Savrulması mesafesi (metrik sistem)'de Denklem 4 kullanılarak belirlenmektedir.

$$SDOB_m = \frac{l_s + 0.0005 \times m \times d}{0.00923 \times (m \times d^3 \times \rho_e)^{0.333}} \quad (3)$$

Bu bağıntıda;

SDOB_m: Metrik sistemde gömme derinliği (m/kg^{0.333}),

l_s: Sıkılama uzunluğu (m),

d: Delik çapı (mm),

m: m ‘nin azami değeri, delik çapı 100 mm’den (4 inç’ten) küçük olduğunda 8, delik çapı 100 mm’den (4 inç’ten) büyük veya eşit olduğunda 10 olarak alınmaktadır.

ρ_c : Patlayıcı yoğunluğu (g/cm^3)

Azami kaya savrulması mesafesi;

$$L_{maks} = 11 \times (SDOB_m)^{-2,167} \times d^{0,667} \quad (4)$$

Çalışma sahasında gerçekleştirilen kontrollü patlatma çalışmalarında sıkılama mesafesi (Is) 3 m, delik çapı (d) 89mm, patlayıcı madde yoğunluğu (ρ_c) 0,80 g/cm^3 ve Patlayıcı kolon şarj uzunluğu (Ic) 6 m olarak belirlenmiştir. Buna göre; Şarj boyu ile delik çapı oranı ($6000 \text{ mm}/89 \text{ mm} = 67,41$) belirlenmelidir. Bu oran 10’dan büyüktür yani şarj uzunluğu delik çapından 10 katından büyüktür ve delik çapı 100 mm’den büyüktür. Bu nedenle $m=10$ alınmıştır.

Ölçekli Gömme Derinliği (SDOBm) Hesabı;

$$SDOB_m = \frac{3,0 + (0,0005 \times 10 \times 89)}{0,00923 \times (10 \times 89^3 \times 0,80)^{0,333}} = 2,107m$$

Kaya Savrulma Mesafesi (L_{maks});

$$L_{maks} = 11 \times 2,107^{-2,167} \times 89^{0,667} = 43,64 \text{ m.}$$

Kaya savrulma mesafesi hesabında Lundberg ve arkadaşları (1975) tarafından delik çapı (d)’ye bağlı olarak geliştirilmiştir. Literatürde sık kullanılan bu yaklaşım Denklem 5’de verilmiştir.

$$L_{max} = 260 \times d^{2/3} \quad (5)$$

Bu eşitliğe göre hesap yapıldığında;

$$L_{max} = 260 \times d^{2/3} = 260 \times 3,50,667 = 599,6 \text{ m kaya savrulma mesafesi öngörülmektedir.}$$

Ancak azami kaya savrulması mesafesi (metrik sistem) formülüne göre hesaplandığında yaklaşık “43,64 m”ye kadar kaya savrulmaktadır. Test edilmiş krater patlatması deneylere dayanan ve Blasters Handbook (2011) kitabında Mc Kenzie tarafından önerilen “Ölçekli Gömme Derinliği” kavramına dayalı azami kaya savrulma mesafesi hesabının da güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilir. Çalışma kapsamında sahada izlenen patlatmalardan kaynaklı kaya savrulma mesafeleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Patlatma sırasında gözlenen kaya savrulma mesafeleri

Patlatma No	Kaya savrulma mesafesi (m)
1	14 m
2	21 m
3	26 m

Elde edilen bulgularda patlamadan kaynaklı kaya savrulma mesafesinin teorik hesaplanan değerlerden daha az olduğu gözlenmiştir. Patlatmadan kaynaklı kaya savrulması can ve mal güvenliği açısından telafisi mümkün olmayan sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu nedenle çevrede bulunan kişileri, yerleşim yerlerini, makineleri korumak ve hiçbir risk üstlenmemek amacıyla patlatma öncesinde güvenlik ya da koruma bölgesi mesafesi daha geniş tutulmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

5. Tartışma ve Sonuç

Adana Çimento Çaldağ hammadde sahsında yapılan patlatmalardan kaynaklanan çevresel etkiler “T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü’nün” 2018 yılında hazırlanmış olduğu, “Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu’a” göre hesaplanmış ve 3 farklı atımda Instanetel Micromate cihazı kullanılarak ölçümler alınmıştır. Yapılan hesaplamalar ve ölçümler sonucunda;

- Çalışma sahasında yapılan kontrollü patlatmalarda hassas mesafelerde meydana gelebilecek titreşim değerleri hesabı ve ölçüm sonuçları incelendiğinde sonuçların sınır değer olan 5,0 mm/s değerinden küçük olduğu görülmüştür.
- Hesaplanan ve ölçülen hava şoku (gürültü) hasar etkisi değeri çevresel etki değerlendirme kataloğunda izin verilen en yüksek düzey olan 133 dB(A) ve Hoek ve Bray’a göre bina hasarları için en yüksek değer olan 140 dB(A)’nın altında olduğu görülmüştür.
- Kaya savrulma mesafesi 43,64 m olup, etkilenmesi muhtemel mesafeler “Kaya Savrulma” değerinin üstündedir. Ayrıca izlenen patlatmalardan elde edilen sonuçlar bu mesafeden daha da küçüktür.
- Çalışma sahasında şu andaki üretim genellikle sınır bölgelerin dışındadır. Yani etkilenmesi muhtemel olan bölgeler için ölçülen mesafeler en kısa mesafelerdir. Bu durum patlatma noktasının etkilenmesi muhtemel bölgelerden uzaklaşması demektir. Böylelikle patlatmadan kaynaklı çevresel etkilerde azalmış olacaktır.
- Uygulanacak kontrollü patlatmalarda patlatma paterninin tam olarak uygulanması, sıkılamanın iyi bir şekilde yapılması ve tüm önlemler alınması halinde çevredeki yapılara hiçbir olumsuz etkisi olmayacağı görülmektedir.

Teşekkür

Çalışmaya olan katkılarından dolayı Adana OYAK Çimento A.Ş. yetkililerine 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

- Adhikari GR., Theresraj AI., Venkatesh S., Balachander R., Gupta RN. Ground vibration due to blasting in limestone quarries. *Fragblast* 2004; 8(2): 85–94.
- Alkan B. Jeostatistik ve bulanık yaklaşımlar ile Adana Çimento hammadde sahasının değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2007; 75p.
- Bilgin HA., Esen S., Kılıç M., Aldas GGU. Yeniköy linyit işletmesinde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının incelenmesi. 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu 2000; 147-158, Ankara.
- Chen G., Huang S. Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts: a case study. *Fragblast* 2001; 5(1): 91-107.
- Cihangir F., Kesimal A., Erçikdi B., Durmuş O. Bir kalker ocağında patlatmalı kazılardan kaynaklanan çevresel etkilerin analizi. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 2005; 149-158, Ankara.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 04.06.2010
Resmî Gazete Sayısı: 27601.
- Felice JJ. Applications of modeling to reduce vibration and air blast levels. International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting 1993, 145-451, Vienna, Austria.
- Hoek E., Bray JW. Rock slope engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London, Third Edition, 1981; 358 p.
- Hüdaverdi T., Kuzu C. Madencilik faaliyetlerinde patlatma kaynaklı çevresel etkilerin ölçülmesi ve analizi. Madencilik ve Çevre Sempozyumu Ankara, 2005; 135-140.
- ISEE Blasters' Handbook, International society of explosives engineers. Stiehr, J.F.(Ed.), Cleveland, Ohio, USA, 18th Edition, 2011; 1030 p.
- Johnston GJ., Durucan G. The numerical prediction analysis and modeling of ground vibration induced by blasting. International Symposium on Mine Planning and Equipment selection 1994; 703-708, Istanbul, Turkey.
- Kahraman E., Kılıç AM. Patlatmadan kaynaklı çevresel etkilerin incelenmesi ve uygulamaya ilişkin bir örnek. 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu 2016; 103-112, Kütahya-Türkiye.
- Kahraman E., Kılıç AM. Evaluation of empirical approaches in estimating mean particle size after blasting by using nondestructive methods. *Arabian Journal of Geoscience* 2020; 13(14): 1-8.

- Kahriman A., Ozer U., Aksoy M., Karadogan A., Tuncer G. Environmental impacts of bench blasting at Hisarcik boron open pit mine in Turkey. *Environmental Geology* 2006; 50(7): 1015-1023.
- Kesimal A., Ercikdi B., Cihangir F. Environmental impacts of blast-induced acceleration on slope instability at a limestone quarry, *Environmental Geology* 2008; 54(2): 381-389.
- Nicholls HR., Johnson CF., Duvall WI. *Blasting vibrations and their effects on structures* (No. 656-660). US Department of the Interior, Bureau of Mines, 1971.
- Orica-Nitro, *Kaya Patlatma Tekniği*, Orica-Nitro Patlayıcı Maddeler San. ve Tic. A. Ő., Ankara, 2006; 144s.
- Özdemir K., Akkay UG., Kahriman A., Karadoğan A., Tuncer G. Taşocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin hasar riski değerlendirmesi. III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu 2003; 59-66, İstanbul.
- Singh PK., Vogt W., Pal Roy P., Singh DP. Prediction and control of ground vibration in a dolomite quarry in India”, *Braunkohle Surface Mining*, 1996; 391-398.
- Siskind DE. Vol. 8485 of *Structure response and damage produced by airblast from surface mining*. Washington, DC: US Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1980.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB). *Patlatma tasarımları ve patlatma kaynaklı çevresel etkiler kılavuzu*. Ankara, 2018; 26 s.
- Yıldızlar B. *Patlatma kaynaklı titreşimlerin yapı davranışı üzerine etkilerinin araştırılması*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, İstanbul, 2009; 176 s.

Kompozit Dolgu ile Restorasyon Yapılmış Dişlerin Basma Yükü Altındaki Mekanik Davranışı

Kadir DOĞAN^{1*}, İsmail Yasin SÜLÜ²

¹Çalık Denim Tekstil San. ve Tic. A.Ş., 44900, Malatya

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 44210, Malatya

¹<https://orcid.org/0000-0001-8850-0242>

²<https://orcid.org/0000-0002-2648-6294>

*Sorumlu yazar: kadiragn44@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 19.03.2022

Kabul tarihi: 01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kompozit dolgu

Kavite

Gerilme analizi

Deformasyon

Bu çalışmada, basma yüküne maruz bırakılmış üç farklı kavite alanına sahip kompozit restorasyonlu sağ üst premolar dişte meydana gelen eş değer (von Mises) gerilmeleri ve toplam deformasyon değerleri incelenmiştir. Model sonlu elemanlar yöntemine göre temellendirilmiş olup ANSYS Workbench paket programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda çiğneme kuvveti uygulanan dişlerde gerilme değerlerinin üç farklı kaviteye sahip dişlerde yakın değerler olduğu ve dişlerde kalıcı hasarın meydana gelmediği saptanmıştır. Dişlerde oluşan gerilmenin kuvvetin uygulandığı tepelerde ve kuron ile kökün birleşim bölgesinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Kavitenin açıldığı bölgenin dişte oluşacak olan gerilme ve deformasyonu etkilediği tespit edilmiştir.

Mechanical Behavior of Composite Filled Teeth Under Compression Load

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 19.03.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Composite filler

Cavity

Stress analysis

Deformation

In this study, the equivalent (von Mises) stresses and total deformation values occurring in the composite restored upper right premolar tooth with three different cavity areas subjected to compression load were examined. The model was based on the finite element method and analyses were performed using the ANSYS Workbench package program. As a result of the study, it was determined that the stress values of the teeth applied to the chewing force were close values in the teeth with three different cavities and permanent damage to the teeth did not occur. It has been observed that the stress generated on the teeth is concentrated in the hills where the force is applied and in the area of the junction of the crown and the root. It has been determined that the region where the cavity is opened affects the stress and deformation that will occur in the tooth.

To Cite: Doğan K., Sülü İY. Kompozit Dolgu ile Restorasyon Yapılmış Dişlerin Basma Yükü Altındaki Mekanik Davranışı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1468-1479.

1. Giriş

Dolgu, üzerine uygulanan kuvvet sonucunda deforme olmuş veya çürük nedeniyle işlevini kaybetmiş bir dişteki tüm artık ve çürükler temizlendikten sonra ortaya çıkan boşluğun, dişin anatomik formuna uygun olarak biyo uyumlu materyallerle doldurulması işlemidir. Bu materyaller günümüzde yaygın kullanım alanına sahip olup kullanım amacına göre değişkenlik göstermektedir. Dolgu restorasyonu

dişin kırılması veya bakteriler sonucunda çürümesi gibi durumlarda kullanıldığı gibi dişin estetik görüntüsünü değiştirmek için de kullanılmaktadır.

Malzeme biliminin gelişmesiyle beraber dental uygulamalarda kullanılan dolgu malzemelerinde de farklılıklar ve gelişmeler gözlemlenmiştir. Diş restorasyonu işleminde, yapılan işlemin dişin ana formuna uygun olmasının yanında dişin görüntüsü de önemlidir. Diş hekimliğinde estetik kaygıların artması sebebiyle sahip oldukları gri görünümünden dolayı amalgam dolgular yerine cam iyomerler ve kompozit rezinler restorasyon uygulamalarında öncelikli hale gelmişlerdir (Elmacı ve Tunçdemir, 2020). Günümüzde uygulanabilirliğinin kolay olması, estetik görünümü ve kimyasal yapıları gibi birçok avantajlarından dolayı dental uygulamalarda tercih edilen dolgulardan bir tanesi de kompozit dolgulardır. Fiziksel özelliklerin geliştirilmesi, dişin renk skalasına ve yapışma durumuna uygunluğu ve formülasyon farklılığı ile estetiklik açısından amalgama alternatif olarak kompozit rezinlerde uzun yıllar kullanılmaktadır (Altun, 2005). Kompozit dolgular sahip olduğu bu avantajlarının yanı sıra belirli dezavantajlara da sahiptir. Kısa klinik ömürleri, düşük mekanik özellikleri, polimerizasyon büzülmesi ve zamanla yüzey sertliklerinde değişim meydana gelmesi bu dezavantajlara örnek olarak verilebilir (Khaled ve ark., 2010; Chen ve ark., 2011; Schneide ve ark., 2011). Literatürde bu dezavantajların yok edilmesi için çalışmalar olduğu gibi günümüzde de bu alanda araştırmalar yapılmaktadır.

Çürüyen bir dişte preparasyonu etkileyen faktörlerden birisi de çürük ebadıdır. Dişe eski anatomik ve fonksiyonel formunu kazandırmak, madde kaybını karşılamak ve çürüğü temizlemek için diş üzerine belirli kurallara uygun olarak açılan boşluğa dental kavite denir (Gür, 2021). Kavite alanı, preparasyon ve dişin sonraki fonksiyonları için önemli bir noktadır. Kavitenin tipi, boyutu, restoratif materyalin türü, çalışma dizaynı ve kaviteyi hazırlayan birey gibi faktörler dolgu ile diş uyumunu etkileyerek dişin mekanik özelliklerinde farklılıklara sebebiyet verebilir. Guler ve Sen (2018), yapmış oldukları çalışmada iki farklı kavitenin molar dişin gerilme dağılımı üzerinde farklılıklar oluşturduğunu saptamışlardır.

Diş hekimliğinde ve farklı alanlarda kullanılan cihaz ve materyallerin uygulanabilirliğini test etmek için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri de sonlu elemanlar analiz yöntemidir. Bu yöntem ile literatürde sayısız çalışmalar yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde, ilk olarak analizi yapılacak olan yapının modele dönüştürülmesi sağlanır. Modeli oluşturulan yapı düğüm noktaları içeren elemanlara bölünür. Düğüm noktaları birbirlerine program yardımıyla bağlanır ve matematiksel denkleme dönüştürülür. Bu denklem düğüm noktaları bilinmeyen değerler için çözülür ve bu şekilde elemanların istenilen değerleri elde edilir.

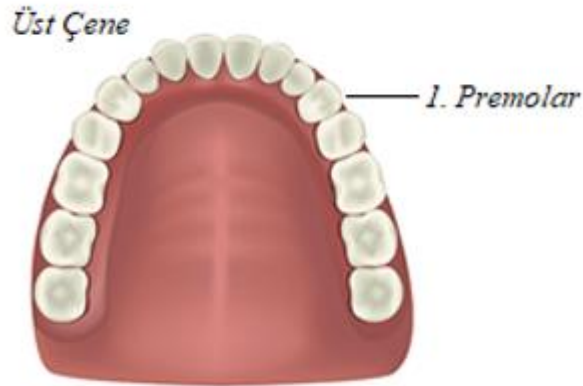
Yılmaz ve Gür (2004), yapmış oldukları çalışmada porselen inleylerde oluşan gerilmeleri sonlu elemanlar analiz ile incelemişlerdir. Silva ve arkadaşları (2009), çalışmalarında fiberglas postlarla ve metal ile yeniden düzeltilmiş üst santral dişteki gerilme dağılımını sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Aynı yıl Taşkınsel (2009), yapmış olduğu doktora çalışmasında dentin-rezin ara yüzeyinde oluşan gerilmeleri üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelemiştir. Zamanlou

(2017), yapmış olduğu doktora çalışmasında restoratif diş malzemelerinde aşınmayı sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel çalışmalar ile incelemiştir. Çalışmasında her iki yöntemde elde ettiği verileri inceleyerek benzer sonuçlar elde etmiştir. Elde ettiği veriler sonucunda farklı restoratif malzemelerin aşınmaya karşı gösterdikleri direnci tespit etmiştir (Zamanlou, 2017). Guler ve Sen (2018), yapmış oldukları çalışmada molar dişin gerilme dağılımı üzerindeki farklı faktörlerin etkisini ANSYS 13 Workbench programını kullanarak incelemiştir. Aksan ve arkadaşları (2018), implant-protez bağlantısı hakkında sonlu elemanlar analizi başlıklı çalışmada literatürdeki çalışmaları derleyerek diş hekimliğinde sonlu elemanlar analiz yönteminin önemini göstermişlerdir. Aynı dergide yayınlanan farklı bir çalışmada Gümrükçü ve Kurt (2019), implant cerrahisinde sonlu elemanlar analiz yönteminin kullanımının yaygın olduğunu ortaya koymuşlardır. Alemdar ve İnkaya (2019), CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yaparak kirişlerin yük altındaki kapasitelerini incelemiştir. Yılmaz ve Uysal (2021), yapmış oldukları çalışmada prefabrik yapılarda, çatılarda, konteynerlerde, baraka ve depo gibi yapıların imalatında kullanılan trapez saçların nümerik ve deneysel modelini karşılaştırarak trapez sacın dinamik davranışlarının elde edilmesi için sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır.

Bu çalışmanın amacı çiğneme kuvveti uygulanmış farklı kavite preparasyonlu sağ üst premolar dişte meydana gelen eş değer (von Mises) gerilmeleri ve deformasyon değerlerinin incelenmesidir. Elde edilen veriler sonucunda kavite türlerinin dişin mekanik davranışına etkisi yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, 1. sağ üst premolar diş kullanılmıştır (Şekil 1). Model tersine mühendislik hizmeti sağlayan firmadan SLDPRT dosya uzantılı biçiminde temin edilmiştir.



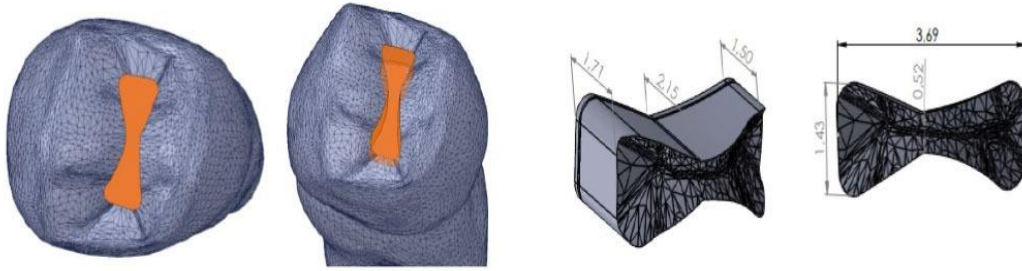
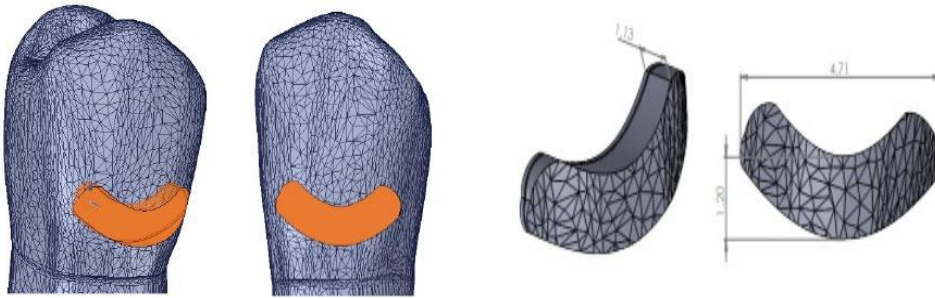
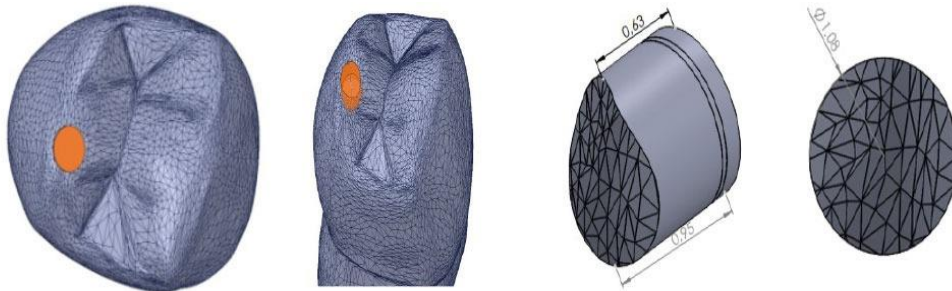
Şekil 1. Üst 1.premolar diş (Anonim, 2021)

Tüm materyallerin izotropik ve lineer elastik özelliklere sahip olduğu kabul edilmiştir. Materyal ve diş yapılarının mekanik özellikleri literatür baz alınarak Tablo 1’de sunulmuştur.

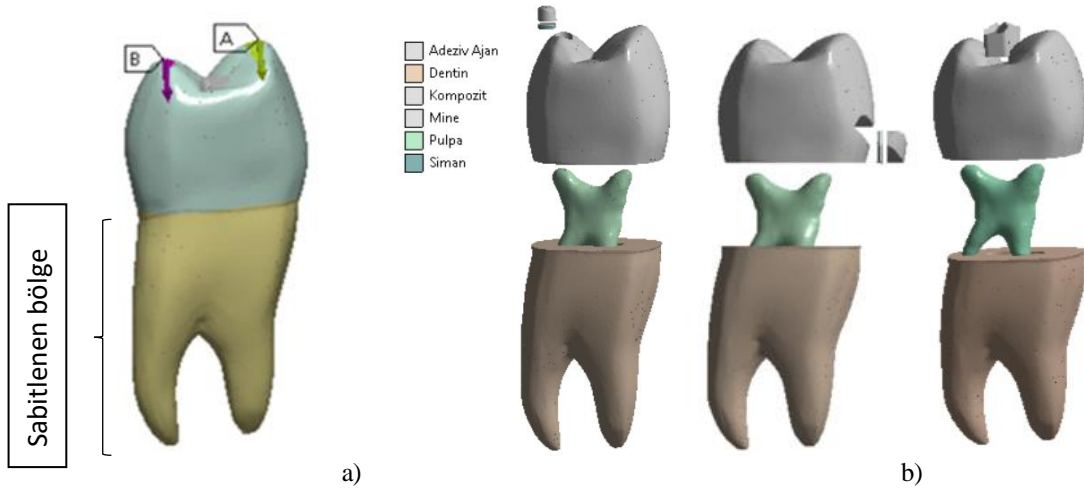
Tablo 1. Malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Referans
Kompozit	10	0,24	(Magne, 2010)
Yapıştırıcı Siman	8	0,33	(Rekow ve ark.,2006)
Mine	84,1	0,30	(Magne, 2010)
Dentin	18,6	0,31	(Magne, 2010)
Pulpa	0,00689	0,45	(Huang ve ark., 2005)
Adeziv ajan	1,0	0,30	(Eyüboğlu ve ark., 2008)

Çalışmamızda kavite preparasyonları için Şekil 2-3-4’de gösterilen Sınıf I, Sınıf V ve Sınıf VI kaviteyi Solidworks 2018 programı kullanılarak açılmıştır. Solidworks 2018 programında kavite açılan yüzeye iki boyutlu kavite geometrisi çizilerek daha sonradan ekstrüzyon komutu ile çizimin içi boşaltılmıştır. İçi boşaltılan alana ise yeni katı oluşturularak dolgu maddesi olarak tanımlanmıştır. Bu dolgu maddesini ise iki katıya ayırarak kompozit ve yapıştırıcı siman malzemesi tanımlanmıştır. Kavite açılan dişler ‘x_t’ uzantısında kaydedilerek ANSYS Workbench programına aktarılmıştır.

**Şekil 2.** Sınıf I kavite**Şekil 3.** Sınıf V kavite**Şekil 4.** Sınıf VI kavite

Çalışmada nümerik analizler, sonlu elemanlar analiz yönteminde yaygın olarak kullanılan ANSYS Workbench paket programı ile yürütülmüştür. Analizin gerçekleşmesi için geometrik modeli oluşturulan diş modeline Tablo 1’de belirtilen materyal ve diş yapılarının mekanik özellikleri ANSYS paket programında her bir katı için ayrı malzeme olarak atanmıştır (Şekil 5b). Malzeme özellikleri olarak Young modülü ve Poisson oranı değerleri malzeme yapı özelliği olarak modele tanımlanmıştır. Oluşturulan modelin ANSYS programında kök ve kök uçlarından sabitlenmesi sağlanarak modelin yükleme durumunda yer değiştirmesinin önüne geçilmiştir (Şekil 5a). Gerekli parametreler girildikten sonra kavite açılmış dişlere basma yükü uygulanmıştır. Uygulanan kuvvetin büyüklüğü literatürdeki çiğneme kuvveti referans alınarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Modelde (a) Kuvvetin uygulandığı bölgeler ve sabitlenen bölge (b) Atanan malzemeler

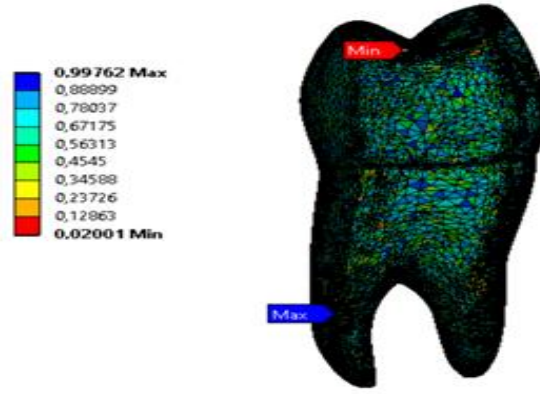
Sonlu elemanlar analizinde modellenen yapılar üzerine uygulanan kuvvetler değişkenlik göstermekle beraber 100 N ile 2000 N arasında değişebilmektedir (Özdemir ve Kahvecioğlu, 2020). Dental alanda yapılan bir çalışmada 100 N’luk kuvvet çiğneme, 500 N’luk kuvvet parafonksiyonel ve 800 N’luk kuvvet ise travmatik kuvvet olarak nitelendirilmiştir (Poiate ve ark., 2009).

Çalışmamızda dişin buccal ve palatinal tepelerine 90° açı ile toplamda 100 N’luk kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvetin dağılımı dişin üst çenedeki konumu dikkate alınarak Şekil 5(a)’da görüldüğü gibi 40 N’luk kısmının A ile gösterilen buccal tepesine, 60 N’luk kısmının ise B ile gösterilen palatinal tepeye geldiği varsayılmıştır. Buccal ve palatinal tepelerde 1,8432 mm²’lik alana basma kuvveti uygulanmıştır. Bu kuvvet analizimizde çiğneme kuvveti olarak tanımlanmıştır. Belirlenen çiğneme kuvveti üç farklı kavite açılmış diş için de aynı bölgeye basma yükü olarak uygulanmıştır.

Tablo 2. Eleman ve düğüm sayısı

Mesh	Sınıf I	Sınıf V	Sınıf VI
Eleman	249082	249578	250446
Düğüm	424956	425218	225522

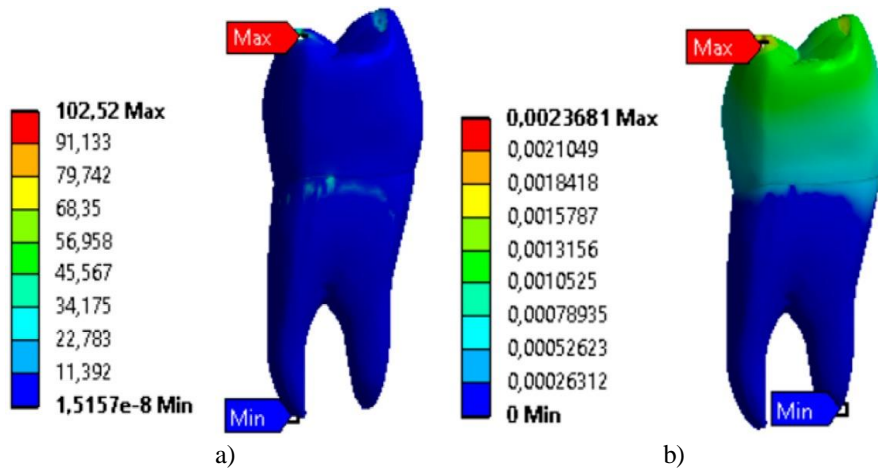
Eyüboğlu ve arkadaşları (2008), yapmış oldukları çalışmada molar diş uyguladıkları diş toplam 450 N'luk kuvveti değişik oranda ikiye ayırarak (F1 ve F2) bukkal ve lingual tüberküllere uygulamışlardır. Sonlu elemanlar analizinde, yapılan mesh'in doğru dağılımı, tercih edilen eleman türü ve analizdeki eleman sayısı problemin çözümünde sonuçları etkileyen en önemli parametrelerdir. Bir problemin çözümünde, tercih edilecek mesh türü ve mesh yoğunluğu uygun olarak seçilmezse doğru çözüme ulaşılmayacak sonuçlar elde edilebilir (İpek, 2011). Çalışmamızda üç diş modelimiz için ortalama olarak mesh oluşumu 249702 elemandan ve 425232 düğümünden oluşmuştur (Tablo 2). Sonlu elemanlar analiz yönteminde, yapılan mesh'in kalitesi çözülmeye çalışılan problemin doğruluğunu etkileyen parametrelerden birisidir (İpek, 2011). Elde edilen mesh kalitesi, geometri üzerindeki renklendirme veya 0-1 arasındaki sayısal değerler ile görülebilmektedir. Şekil 6'da diş modelinin mesh kalitesi sayısal ve renk skalası ile birlikte gösterilmiştir.



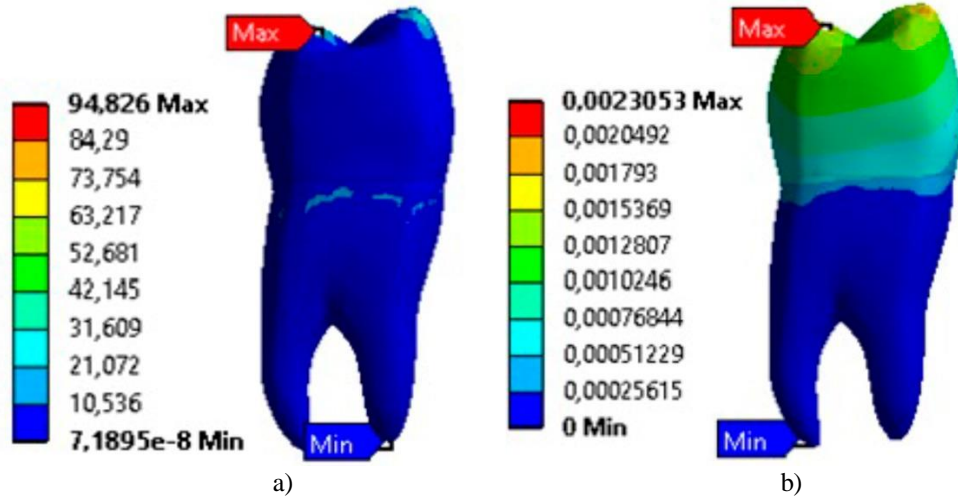
Şekil 6. Mesh (Ağ yapısı) kalitesi

3. Bulgular ve Tartışma

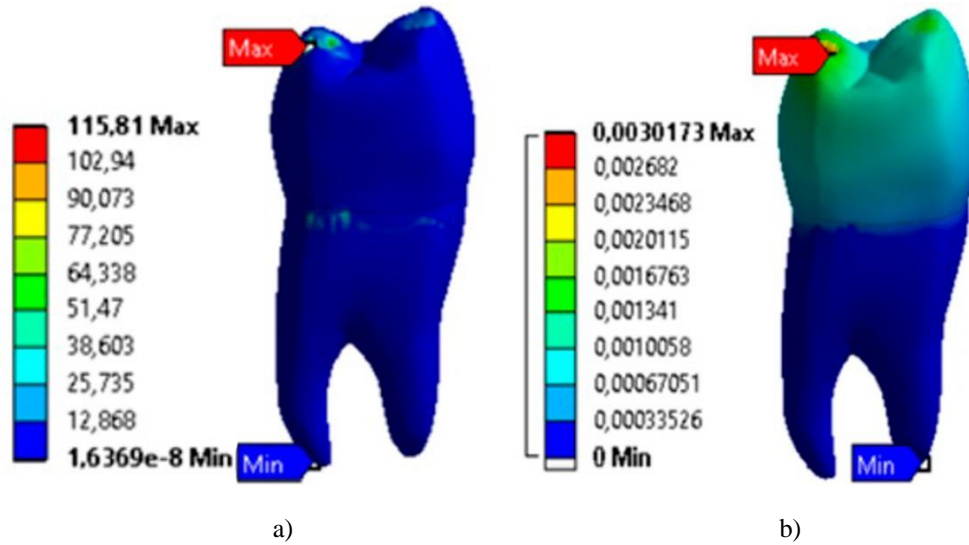
Basma yüküne maruz bırakılan üç farklı kavite preparasyonu yapılmış dişlerde toplam deformasyon ve eş değer gerilme (von Mises) değerleri elde edilmiştir. Analizde 100 N yükleme kuvveti ve kompozit dolgu materyali sabit tutularak farklı kavite tiplerindeki meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizi yöntemini kullandığımız çalışmamızda gerilme dağılımı ve toplam deformasyon değerleri matematiksel olarak ve renk skalası ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 7. 100 N uygulanmış Sınıf I restorasyonlu diş (a) Eş değer gerilme (b) Toplam deformasyon



Şekil 8. 100 N uygulanmış Sınıf V restorasyonlu diş (a) Eş değer gerilme (b) Toplam deformasyon



Şekil 9. 100 N uygulanmış Sınıf VI restorasyonlu diş (a) Eş değer gerilme (b) Toplam deformasyon

Yükleme durumunda dişlerde deformasyon ve gerilmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Sınıf I, Sınıf V ve Sınıf VI kavite açılmış üç farklı dişte minimum deformasyon ve gerilmenin dişin kök uçlarında meydana geldiği saptanmıştır. Yükün uygulandığı alan olan minede deformasyonun diğer bölgelere göre yüksek olduğu ve dişin köklerine doğru ilerledikçe deformasyonun azaldığı görülmüştür. Dişte meydana gelen gerilmenin dişin tüm bölgelerinde meydana geldiği ve en yüksek gerilme yoğunluğunun ise kuvvetin uygulandığı bölge olan buccal ve palatinal tepelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Gerilme yoğunluğunun olduğu diğer bir nokta ise dişin kök ile krun arasında bulunan bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir. Literatürdeki kemik ve dokularının çekme dayanımı olan 123 MPa referans alınarak yorum yapılmıştır. Bunun yanı sıra kritik deformasyon miktarı ise literatürdeki çalışmalar referans alınarak $3.7 \pm 1.2 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir (Tanaka ve ark.,2003; Magne ve Oganessian, 2009).

Şekil 8’de gösterilen Sınıf V kavite restorasyonlu dişte maksimum toplam deformasyonun 2,305 μm ve maksimum eş değer gerilmenin ise 94,826 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sınıf V restorasyonlu olan

bu dişin diğer iki farklı kaviteye sahip dişe göre gerilme ve deformasyonun düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kavite boyutu olarak Sınıf I kavite ile yaklaşık olarak aynı boyuta sahip olmasına rağmen gerilmenin ve deformasyonun düşük olmasının sebebinin kuvvetin uygulandığı alana olan mesafesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Dişin kökleri damak tarafından sabitlendiği için dişin görünen üst yüzeyi ve damak içerisinde kalan bölge arasında orta seviyede gerilme yoğunluğu gözlemlenmiştir. Dişte meydana gelen deformasyon incelendiğinde çiğneme kuvvetinin sağ premolar diş için önemli derece de hasara sebebiyet vermediği saptanmıştır.

Şekil 7’de gösterilen Sınıf I kavite restorasyonlu dişte maksimum toplam deformasyonun 2,368 µm ve maksimum eş değer gerilmenin ise 102,52 MPa olduğu tespit edilmiştir. Kavite boyutu olarak Sınıf VI kaviteden daha büyük alana sahip olmasına rağmen gerilmenin ve deformasyonun düşük olmasının sebebinin kuvvetin uygulandığı alanın Sınıf VI kaviteye göre uzak olmasıdır. Sınıf I kaviteye sahip bu dişte de hasara sebebiyet verebilecek seviyede deformasyonun meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Kuvvetin uygulandığı alandan sonra en yüksek gerilmenin yine kuron ile kök arasında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 9’da gösterilen Sınıf VI kavite restorasyonlu dişte maksimum toplam deformasyonun 3,017 µm ve maksimum eş değer gerilmenin ise 115,81 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sınıf VI restorasyonlu olan bu dişin gerilme ve deformasyon değerlerinin diğer iki dişe göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kavite boyutu olarak Sınıf I ve Sınıf V kaviteden daha küçük alanı sahip olmasına rağmen belirtilen değerlerin yüksek çıkması kuvvetin uygulandığı bölgede bulunması ve kuvvetin büyük bir kısmının kaviteye etki etmesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Sınıf VI kaviteye sahip bu diş diğer iki dişte olduğu gibi hasara sebebiyet verebilecek seviyede deformasyonun meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Sınıf I ve Sınıf V kavite restorasyonlu dişte olduğu gibi dişin sabit olduğu kök ile kuron bölgesinin birleşiminde orta seviye gerilmenin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Dişlerde oluşan maksimum toplam deformasyon ve eş değer gerilme

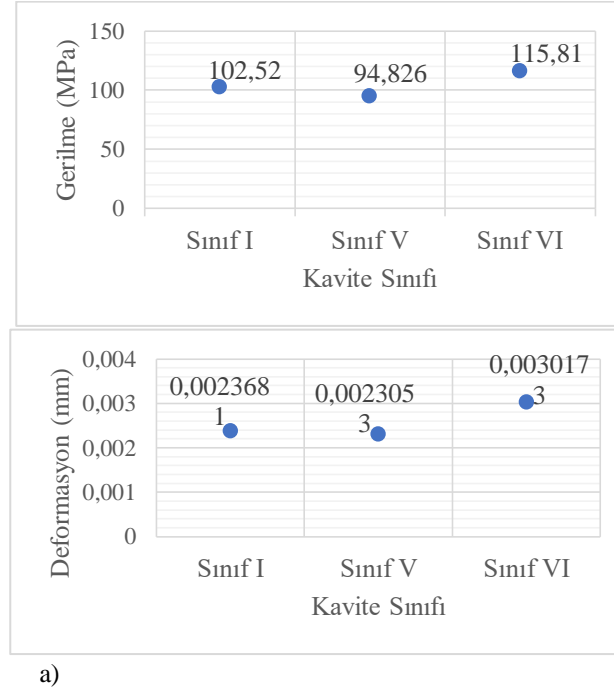
Kavite Tipi	Toplam Deformasyon(mm)	Z Yönündeki Deformasyon(mm)	Eşdeğer Gerilme(MPa)
Sınıf I	0,0023681	-0,00024322	102,52
Sınıf V	0,0023053	-0,00022540	94,826
Sınıf VI	0,0030173	-0,00031934	115,81

Tablo 3’de görüldüğü üzere yükleme sonucunda meydana gelen deformasyonlar incelendiğinde önemli bir deformasyonun meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Sınıf VI restorasyonlu dişte maksimum, Sınıf V restorasyonlu dişte ise minimum deformasyonun meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yükleme sonucunda meydana gelen eş değer (von Mises) gerilmelerinde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Sınıf VI restorasyonlu dişte maksimum, Sınıf V restorasyonlu dişte ise minimum gerilmenin meydana geldiği tespit edilmiştir. X, Y ve Z yönündeki deformasyon incelendiğinde, dişlere basma yükü uygulandığından dolayı maksimum deformasyonun -z yönünde meydana geldiği gözlemlendi.

Yılmaz ve Gür (2004), yapmış oldukları çalışmada ise kontrol grubunun vertikal yüklemesinde en yüksek eş değer gerilme değerlerinin kuvvetin uygulandığı buccal tüberkül tepelerinde ve dişlerin sabitlendiği kök uçlarında 500 MPa'dan daha yüksek değerlerde oluştuğunu, bunun dışında dişin mine-sement sınır bölgelerinde 100-150 MPa arasında gerilme yoğunluklarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada dişe yatay ve dikey yönde 200 N'luk kuvvet uyguladıklarında kromda en yüksek gerilme değerinin minede meydana geldiğini saptamışlardır (Silva ve ark., 2013). Dişlerin kırılma dayanımı üzerine yaptıkları çalışmada Arıkan ve arkadaşları (2021), kompozit restorasyonlu dişe uyguladıkları basma kuvveti sonucundan en fazla gerilmenin palatino-servikal bölgede gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada basma yüküne maruz bırakılmış Sınıf I, Sınıf V ve Sınıf VI olmak üzere üç farklı kavite açılmış sağ premolar diş modelinde meydana gelen eş değer gerilmeler ve toplam deformasyonlar incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir:



Şekil 10. Dişlerde oluşan (a) Maksimum eş değer gerilme (b) Maksimum toplam deformasyon

- Sınıf I, Sınıf V ve Sınıf VI kaviteye sahip dişler arasında deformasyon ve gerilme değerlerinde farklılıklar gözlemlenmiştir.
- Kuvvetin temas yüzeyine yakın bölgede açılan kavitenin dişte daha büyük deformasyon ve gerilme oluşturduğu tespit edilmiştir.
- Çiğneme kuvvetinin farklı kavite preparasyonlu dişler arasında önemli bir deformasyon değişikliğine sebebiyet vermediği saptanmıştır.
- Çiğneme kuvveti sonucunda meydana gelen deformasyon dişte hasara sebep olacak büyüklükte olmadığı sonucuna varılmıştır.

- Minede ve kök ile kuron birleşim bölgesinde gerilme yoğunluğunun yüksek olduğu saptanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmaya İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon birimine (İNÖNÜ-BAP, Proje Kodu: FYL-2021-2655) ve Malatya Çalık Denim Tekstil'e vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makalenin yazarları olarak bu çalışmaya eşit oranda katkı sağladığımızı beyan ederiz.

Kaynakça

- Aksan ME., Atsü S., Bulut AC. İmplant-protez bağlantısında sonlu elemanlar analiz yöntemi. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2018; 28(1): 91-97.
- Altun C. Kompozit dolgu materyallerinde son gelişmeler. Gülhane Tıp Dergisi 2005; 47(1): 77-82.
- Chen L., Yu Q., Wang Y., Li H. BisGMA/TEGDMA dental composite containing high aspect-ratio hydroxyapatite nanofibers. Academy of Dental Materials 2011; 27(11): 1187-1195.
- Elmacı İ., Tunçdemir MT. Restoratif diş hekimliğinde cam iyomer simanlar ve yeni gelişmeler. Nemetin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi 2020; 2(2): 69-75.
- Erol Arıkan EŞ., Tınaz AC., Bek Kürklü G. Endodontik giriş kavitesi şeklinin ve akışkan kompozit uygulamasının dişlerin kırılma dayanımı üzerine etkisi. Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi 2021; 27(2): 286-293.
- Eyüboğlu TF., Önal B., Erdilek N., Gören B., Ergücü Z. Molar dişlerde inley restorasyonların mekanik performansının incelenmesi: 3-boyutlu sonlu elemanlar analizi. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2008; 25(1): 27-33.
- Fırat Alemdar, Z., & İnkaya, N. CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar parametrik analizleri. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2019; 10(3): 1073-1085.
- Guler MS., Sen S. The effect of different factors on S distribution in a molar tooth. Cumhuriyet Dental Journal 2018; 21(3): 195-201.
- Gümrükçü Z., Kurt S. Sonlu elemanlar stres analizi yönteminin implant cerrahisinde kullanımı. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2019; 29(3): 534-541.
- Gür G. Genel kavite preparasyonları. <https://acikders.ankara.edu.tr>. Erişim Tarihi: 09.12.2021.

<https://www.vcdental.com.au/tooth-anatomy-education/> (Erişim Tarihi: 22.12.2021).

Huang HM., Ou KL., Wang WN., Chiu W., Lin C., Lee SY. Dynamic finite element analysis of the human maxillary incisor under impact loading in various directions. *Journal of Endodontics* 2005; 31(30): 723-727.

İpek S. Doğru mesh üretiminin çözüm üzerinde etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:94, Isparta, Türkiye, 2011.

Khaled SM., Miron RJ., Hamilton DW., Charpentier PA., Rizkalla AS. Reinforcement of resin based cement with titania nanotubes. *Academy of Dental Materials* 2010; 26(2): 169-178.

Magne P. Virtual prototyping of adhesively restored, endodontically treated molars. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2010; 103(6): 343-351.

Magne P., Oganesyanyan T. CT-Scan-based finite element analysis of premolar cuspal deflection following operative procedures. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 2009; 361-369.

Özdemir S., Kahvecioğlu F. Kök ucu açık dişlerde sonlu elemanlar analizi kullanılarak farklı yönlerden gelen travmaların oluşturduğu streslerin değerlendirilmesi. *Selcuk Dental Journal* 2020; 7(2): 318-325.

Poiate I., de Vasconcellos A., de Santana R., Poiate E. Three-Dimensional stress distribution in the human periodontal ligament in masticatory, parafunctional, and trauma loads: finite element analysis. *Journal of Periodontology* 2009; 80(11): 1859-1867.

Rekow D., Harsono M., Janal M., Thompson M., Zhang G. Factorial analysis of variables influencing stress in all-ceramic crowns. *Academy of Dental Materials* 2006; 22(2): 125-132.

Schneider LF., Cavalcante LM., Silikas N., Watts DC. Degradation resistance of silorane, experimental ormocer and dimethacrylate resin-based dental composites. *Journal of Oral Science* 2011; 53(4): 413-419.

Silva BR., Moreira Neto JJ., da Silva FIJ., de Aguiar AS. Three-dimensional finite element analysis of the maxillary central incisor in two different situations of traumatic impact. *Comput Methods in Biomedical Engineering* 2013; 16(2): 158-164.

Silva NR., Castro CG., Santos-Filho PC., Silva GR., Campos RE., Soares PV., Soares CJ. Influence of different post design and composition on stress distribution in maxillary central incisor: finite element analysis. *Indian Journal of Dental Research* 2009; 20(2): 153-158.

Tanaka, M., Naito, T., Yokota, M., Kohno M. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force. *Journal of Oral Rehabilitation* 2003; 60-67.

Taşkınsel E. Rezin-dentin arayüzündeki streslerin üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yöntemiyle incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:87, Ankara, Türkiye, 2009.

Yılmaz F., Gür G. Porselen inleyelerde oluşan stresin sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2004; 31(2): 85-96.

Yılmaz M., Uysal M. Trapez Sacların titreşim davranışlarının sonlu elemanlar ve deneysel modal analizleriyle incelenmesi. *Technological Applied Sciences* 2021; 16(2): 7-19.

Zamanlou H. Restoratif diş malzemelerinde aşınmanın deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 103, Erzurum, Türkiye, 2017.

Determination of Tire Contact Stress and Deflection Distributions in a Layered Half-Space Using 3-D Boundary Element Method

İbrahim Özgür DENEME¹, Metin Hakan SEVERCAN^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Aksaray University, 68100, Aksaray, Turkey

²Department of Civil Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, 51100, Niğde, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-5826-7187>

²<https://orcid.org/0000-0001-7320-8409>

*Corresponding author: msever@ohu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 13.12.2021

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Boundary element method

Elasto-statics

Fourier transform space

Pavement response

Layered half-space

ABSTRACT

In this study, the Boundary Element Method (BEM) was employed for the numerical determination of the response of a layered half-space. The material behaviour of the soil was assumed to be isotropic and linear elastic. The BEM was used in the Fourier transform space (FTS). The focus of this paper is to determine the stress and deflection distributions of interior points of a layered half-space. To achieve this aim, in this study, a computer program is developed for three-dimensional elastic or visco-elastic problems. The results of stress and deflection distributions in a layered half-space determined using boundary element formulation are presented in figures.

Tabakalı Zeminlerde Tekerlek Temas Gerilmesi ve Deplasman Dağılımlarının Üç Boyutlu Sınır Eleman Yöntemi ile Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.12.2021

Kabul tarihi: 01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Sınır eleman yöntemi

Elasto-statik

Fourier dönüşüm uzayı

Üstyapı tepkisi

Tabakalı yarım uzay

ÖZ

Bu çalışmada, tabakalı bir yarım uzayın tepkisinin sayısal olarak belirlenmesi için sınır eleman yöntemi kullanılmıştır. Zeminin malzeme davranışının izotrop ve lineer elastik olduğu varsayılmıştır. Sınır eleman yöntemi, Fourier dönüşüm uzayında kullanıldı. Bu makalenin odak noktası, tabakalı bir yarım uzayın iç noktalarında oluşan gerilme ve deplasman dağılımlarının belirlenmesidir. Bu amaca ulaşmak için bu çalışmada, üç boyutlu elastik veya visko-elastik problemler için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sınır eleman formülasyonu kullanılarak belirlenen tabakalı bir yarım uzaydaki gerilme ve deplasman dağılımları şekillerde sunulmuştur.

To Cite: Deneme İÖ., Severcan MH. Determination of Tire Contact Stress and Deflection Distributions in a Layered Half-Space Using 3-D Boundary Element Method. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1480-1493.

1. Introduction

It is known that there are two different approaches for pavement design. One of them is rigid pavement design approach. Rigid pavement mainly consists of a concrete slab (with or without reinforcement) on the subgrade soil. Rigid concrete pavement distributes the vehicle axle loads by bending action on subgrade soil. Stress occurred in subgrade is generally lower than the strength of subgrade materials. However, vehicle loads produce much larger stress in concrete pavement material

than that of occurred on subgrade. Thus, stresses are carried by rigid pavement, and utilizing a concrete grade with sufficient tensile strength is generally adequate for design of rigid pavement (Yoder and Witczak, 1975). On the other hand, another approach is flexible pavement design. Flexible pavement distributes vehicle loads through its body and its total structure deflects under vehicle loads. A typical flexible pavement structure consists of mainly several layers of materials. Maximum stress is occurred on the surface of top layers, and stress is reduced on the lower part of materials. Determination of stress distribution in subgrade soil is important in design of flexible pavement. According to stress distribution within the flexible pavement, thickness of flexible pavement layers can be designed or for a certain thickness, selection of the materials with sufficient strength to be used in that layer can be specified.

Static or dynamic approaches can be used in the calculation of pavement response. Unlike dynamic analysis, inertial effects such as structural mass and damping ratios are ignored in static analysis. Subgrades of pavement can be modelled as an elastic or a viscoelastic homogeneous half-space with considering the influence of the load type, the velocity and frequency of the moving load (Kim and Roesset, 2003; Sun, 2006). In both analysis approaches, the pavement under vehicle loads can be considered as a homogeneous/layered elastic half-space. Vehicle load is applied on pavement through tires. Therefore, an acceptable description should be done for the contact stress between tires and pavement to obtain the true responses of pavement (Huang, 2004). Experimental measurements and numerical analysis such as finite element analyses have demonstrated that pressure distribution of the tyre-pavement contact is very complex (Hu and Sun, 2005; Hernandez and Al-Qadi, 2017). Some of the studies in the literature (Weissman, 1999; Hu and Sun, 2005) modelled contact area between tyre and pavement surface as a rectangle.

The numerical methods, such as Finite Element Method (FEM), BEM and coupling of FEM/BEM were used in solving pavement problems. With recent advancement of high-speed computers, the FEM become the most used numerical tool for the determination of stresses and strains. The first application of the FEM for the analysis of pavements may be found in reference (Duncan et al., 1968). Since then, several computer programs based on FEM have been developed for pavement analysis. Flexible pavements were modelled as elastic or viscoelastic layered half-spaces under static or dynamic stationary or moving loads (Mamlouk and Davies, 1984; Sousa et al., 1988; Siddharthan et al., 1998; Yoo and Al-Qadi, 2007; Al-Qadi et al., 2008; Vale, 2008; Khavassefat et al., 2012; Zheng et al., 2012; Lee et al., 2013; Beskou et al., 2016; Djellali et al., 2017; Castillo et al., 2019; Jiang et al., 2019). FEM/BEM combination is also used for determination of stresses and strains in flexible pavements (Pan and Atluri, 1995; François et al., 2007).

In FEM, a semi-infinite soil region should be modelled discretizing the whole volume presenting by brick elements having large number of degrees of freedom. In contrast the solution of a boundary value problem can be reduced by one dimension with the help of some integral equations in BEM (Brebba and Dominguez, 1989; Banerjee, 1994; Yerli and Deneme, 2008; Deneme et al., 2009).

Hence, the BEM formulation requires smaller amount of data. The volume integrals can be carried to the boundary by using Dual Reciprocity Method (Partridge et al., 1992). The analytical expressions of the fundamental solutions can be determined for infinite medium (Mengi et al., 1994). Then the unknown boundary quantities (boundary tractions or displacements) can be calculated by using BEM. Besides, the response quantities at interior points can be computed numerically. The BEM studies applied in the literature can be found as calculation of the response of elastic/layered half-space under free field or on its surface moving loads (Payton, 1964; Grundmann et al., 1999; Lombaert et al., 2000; Rasmussen et al., 2001; Andersen and Nielsen, 2003; Beskou and Theodorakopoulos, 2011; Lu et al., 2018). According to authors' knowledge there is no BEM numerical work on the topic that calculates stress and deflection distributions in pavements.

In this study, the BEM was employed for the numerical determination of the response of pavements. The material behaviour of the soil was assumed to be linear elastic. The BEM was used in the FTS. The focus of this paper is to determine the stress and deflection distributions in interior points of a layered half-space. Therefore, in the static analysis, formulation was considered for stress and deflection distributions in a layered half-space, since the purpose of the study is to analyse the influence of the load model on the pavement response, with the BEM formulation adopted for pavement design.

2. Boundary Element Equation

In FTS, the governing equation (Brebbia and Dominguez, 1989; Banerjee, 1994; Mengi et al., 1994) is as follows for a body presented in Fig. 1.

$$\partial_j \tau_{ij} + f_i + \rho \omega^2 u_i = 0 \quad (1)$$

Boundary integral equation (BIE) in FTS is well established in literature (Brebbia and Dominguez, 1989; Banerjee, 1994; Mengi et al., 1994).

$$c_{1k} u_k(P) = \int_S G_{1k}(P, Q) t_k(Q) dS - \int_S H_{1k}(P, Q) u_k(Q) dS + \int_V G_{1k}(P, Q) f_k(Q) dV \quad (2)$$

where, G_{1k} and H_{1k} are first and second fundamental solutions; u_k , t_k and f_k are displacement, traction and body force components, respectively. c_{1k} is a constant depending on the location of source point P . Eqs. (1) and (2) were written in indicial notation form. The indices in these equations take the values from 1 to 3, for 3-D analysis.

The matrix form of BIE in Eq. (2) is presented in the following form:

$$\underline{c} \underline{u}(P) = \int_S \underline{G}(P, Q) \underline{t}(Q) dS - \int_S \underline{H}(P, Q) \underline{u}(Q) dS + \int_V \underline{G}(P, Q) \underline{f}(Q) dV \quad (3)$$

where the matrix values of \underline{c} in Eq. (3) is given in Eq. (4).

$$\underline{c} = \begin{cases} \underline{I} & \text{If P is an interior point} \\ \underline{0} & \text{If P is on outside V} \\ \frac{1}{2}\underline{I} & \text{If P is on the boundary S} \end{cases} \quad (4)$$

The fundamental solution matrices (\underline{G} and \underline{H}) have been established and found in the literature (Mengi et al., 1994).

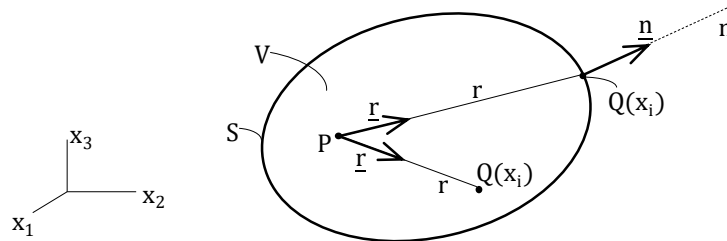


Fig. 1. Three dimensional body

3. Solution of Boundary Element Equation

For the determination of unknown boundary quantities, boundary element equation is solved numerically by discretizing the boundary into N boundary elements (Fig. 2). In the study, constant boundary elements are used for 3-D case.

After discretization, the boundary S is divided into small boundary elements, BIE, Eq. (3), can be obtained as follow for the node P_m of the m th boundary element,

$$\frac{1}{2}\underline{u}^m = \sum_{n=1}^N \underline{G}^{mn}\underline{t}^n - \sum_{n=1}^N \underline{H}^{mn}\underline{u}^n \quad (m = 1, \dots, N) \quad (5)$$

$$\underline{G}^{mn} = \int_{S_n} \underline{G}(P_m, Q)dS \quad (6)$$

$$\underline{H}^{mn} = \int_{S_n} \underline{H}(P_m, Q)dS \quad (7)$$

where S_n is the boundary of the n th element (Fig. 2). In Eq. (5), \underline{u}^n and \underline{t}^n are associated with the n th boundary element. Because the P_m node is not a corner point, \underline{c} is taken as $\frac{1}{2}\underline{I}$ in analysis.

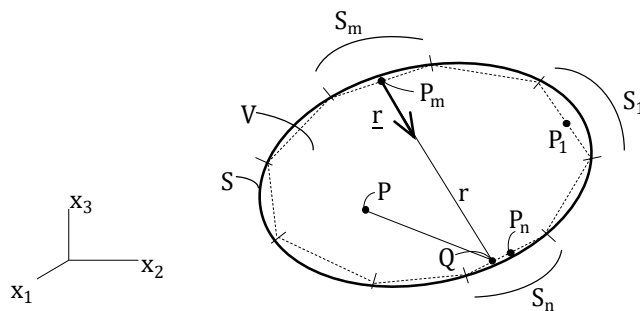


Fig. 2. Boundary element discretization of the body

Nodal displacements and traction components of a point can be defined as follows;

$$\underline{u}^n = \underline{u}(P_n) \quad (8)$$

$$\underline{t}^n = \underline{t}(P_n) \quad (9)$$

Using these formulations, the system equations of BEM can be obtained in matrix form as,

$$\underline{\tilde{H}} \underline{\tilde{u}} = \underline{\tilde{G}} \underline{\tilde{t}} \quad (10)$$

where;

$$\underline{\tilde{G}} = (\underline{G}^{mn}) \quad ; \quad \underline{\tilde{H}} = (\underline{H}^{mn} + \frac{1}{2} \underline{I} \delta_{mn}) \quad ; \quad \underline{\tilde{u}} = (\underline{u}^n) \quad ; \quad \underline{\tilde{t}} = (\underline{t}^n) \quad ; \quad (m=1, \dots, N) \quad (11)$$

In these equations δ_{mn} is Kronecker's delta. The elements \underline{G}^{mn} and \underline{H}^{mn} may be computed numerically by using Gaussian quadrature integration formula. The unknown boundary quantities are obtained from the solution of Eq. (10) with the help of prescribed boundary conditions. Thus, the interior displacements and stresses can be computed numerically by using the boundary quantities.

3.1. Determination of Displacements at Interior Points

Having determined the boundary quantities, the displacements and stresses at an interior point P (Fig. 1) can be obtained using Eq. (2). It should be noted that the node P is an interior point. Hence, $\underline{c} = \underline{I}$ is used. When BIE, Eq. (2), in the absence of body force is written, then, the following equation can be obtained.

$$u_l(P) = \int_S G_{lk}(P, Q) t_k(Q) dS - \int_S H_{lk}(P, Q) u_k(Q) dS \quad (12)$$

There the fixed point P is an interior point. For the numerical solution of Eq. (12), when the boundary S is discretized into N boundary elements, and constant element formulation is used, then, Eq. (12) takes the form,

$$u_l(P) = \sum_{n=1}^N G_{lk}^n t_k^n - \sum_{n=1}^N H_{lk}^n u_k^n \quad (13)$$

where, G_{lk}^n and H_{lk}^n are expressed as in Eq. (14).

$$G_{lk}^n = \int_{S_n} G_{lk}(P, Q) dS \quad ; \quad H_{lk}^n = \int_{S_n} H_{lk}(P, Q) dS \quad (14)$$

Further, u_k^n and t_k^n denotes displacement and stress vector components of n^{th} element. Thus, Eq. (13) establishes the displacements at the interior point P in terms of boundary quantities. The integrals in Eq. (14) can be computed by using Gaussian quadrature numerical integration formula. Eqs. (12) and (14) were written in indicial notation form. The indices in these equations take the values from 1 to 3, for 3-D analysis.

3.2. Stresses Determination at Interior Points

In order to compute the stresses occurring at the interior point P, it is necessary to establish the constitutive equation together with the Eq. (2). The constitutive equation is given by Eq. (15).

$$\tau_{ij}(P) = c_{ijsl} \frac{\partial u_l}{\partial p_s}(P) \quad (15)$$

where, p_s 's are the coordinates of point P, τ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) are stress components, and c_{ijsl} is material constant. For isotropic materials, material constant value of c_{ijsl} is given in Eq. (16).

$$c_{ijsl} = \mu(\delta_{is}\delta_{jl} + \delta_{il}\delta_{js}) + \lambda\delta_{ij}\delta_{sl} \quad (16)$$

where λ is called as Lamé constant.

To establish τ_{ij} 's, $\frac{\partial u_l}{\partial p_s}$ is to be computed. When the partial derivative of both sides of Eq. (12) with respect to the coordinates of the point P is obtained, and substituted in Eq. (15), the stress components at the point P can be obtained as given in Eq. (17).

$$\tau_{ij}(P) = \int_S D_{kij}(P, Q) t_k(Q) dS - \int_S S_{kij}(P, Q) u_k(Q) dS \quad (17)$$

where, $D_{kij}(P, Q)$ and $S_{kij}(P, Q)$ are described by Eq. (18).

$$D_{kij}(P, Q) = c_{ijsl} \frac{\partial G_{lk}(P, Q)}{\partial p_s} ; S_{kij}(P, Q) = c_{ijsl} \frac{\partial H_{lk}(P, Q)}{\partial p_s} \quad (18)$$

where, G_{lk} and H_{lk} denote the fundamental solutions. The indices in these equations take the values from 1 to 3, for 3-D analysis. G_{lk} and H_{lk} are, the first and the second fundamental solution for 3-D elasto-static case, given in Eq. (19).

$$G_{lk} = \frac{1}{16\pi\mu(1-\nu)r} [(3 - 4\nu)\delta_{lk} + r_l r_k]$$

$$H_{lk} = -\frac{1}{8\pi(1-\nu)r^2} \left[\frac{\partial r}{\partial n} \{(1 - 2\nu)\delta_{lk} + 3r_l r_k\} + (1 - 2\nu)(n_l r_k - n_k r_l) \right] \quad (19)$$

where δ_{lk} , ν , μ , n_k and n_l denote Kronecker delta, Poisson's ratio, shear modulus, outer unit normal vector components and unit vector components in $\overline{P_m Q}$ direction, respectively.

If the boundary element discretization of the body (Fig. 2) is taken into account, and the constant element formulation is used; the Eq. (17) takes the form as in the Eq. (20).

$$\tau_{ij}(P) = \sum_{n=1}^N D_{kij}^n t_k^n - \sum_{n=1}^N S_{kij}^n u_k^n \quad (20)$$

where,

$$D_{kij}^n = \int_{S_n} D_{kij}(P, Q) dS \quad ; \quad S_{kij}^n = \int_{S_n} S_{kij}(P, Q) dS \quad (21)$$

\underline{D}^n and \underline{S}^n coefficients in Eq. (21) can be computed by Gaussian quadrature numerical integration formula. Having known these coefficients and the boundary quantities \underline{t}^n and \underline{u}^n , the stress values at the interior point P can be computed, using Eq. (20). The indices in these equations take the values from 1 to 3, for 3-D analysis. \underline{D}^n and \underline{S}^n coefficients involve \underline{D} and \underline{S} functions, defined in Eq. (18). These functions depend on elastic coefficients and fundamental solutions, and they can be defined by performing the operations indicated in Eq. (18). The \underline{D} and \underline{S} functions take forms for static analysis of isotropic elastic body are given in Eq. (22).

$$D_{kij} = \frac{1}{r^\alpha} \{ (1 - 2\nu) [\delta_{ki} r_j + \delta_{kj} r_i - \delta_{ij} r_k] + \beta r_i r_j r_k \} \frac{1}{4\alpha\pi(1-\nu)}$$

$$S_{kij} = \frac{2\mu}{r^\beta} \left\{ \beta \frac{\partial r}{\partial n} [(1 - 2\nu) \delta_{ij} r_k + \nu (\delta_{ik} r_j + \delta_{jk} r_i) - \gamma r_i r_j r_k] + \beta \nu (n_i r_j r_k) + (1 - 2\nu) (\beta n_k r_i r_j + n_j \delta_{ik} + n_i \delta_{jk}) - (1 - 4\nu) n_k \delta_{ij} \right\} \frac{1}{4\alpha\pi(1-\nu)} \quad (22)$$

where, values of α , β , γ are 2, 3 and 5, respectively.

3.3. BEM for a Composite Body

In this study, the boundary element formulation for an elastic body is presented. The composite body is consisting of two different regions, 1st region and 2nd region, with properties (μ_1, ρ_1, ν_1 , etc) and (μ_2, ρ_2, ν_2 , etc.), respectively (see Fig. 3). The composite body has the boundaries S'_1 and S'_2 belonging to 1st region and 2nd region, respectively; and the interface S_c is common to both.

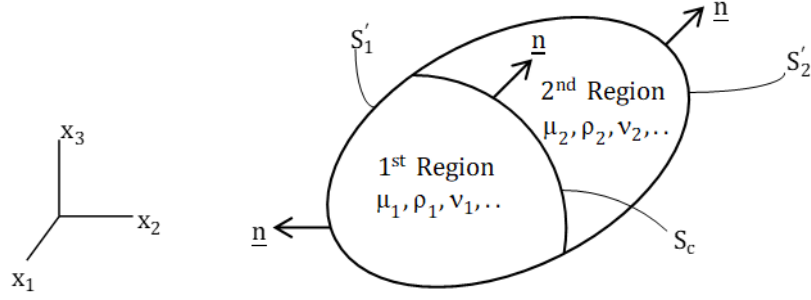


Fig. 3. A typical two-material composite body

The boundary element formulation of the composite body involves two-step, one is writing the system equation, Eq. (10), for 1st region and 2nd region; and the second one is, combining them so that the continuity conditions on the interface S_c is satisfied. In order to obtain the system equation for the two regions separately, the composite body is divided into two parts along the interface S_c boundary, as seen in Fig. 4. Accordingly, if the total boundaries of the first and second regions are denoted by S_1 and S_2 , respectively, for these boundaries, the following equations can be obtained.

$$S_1 = S'_1 \oplus S_c \quad ; \quad S_2 = S'_2 \oplus S_c \quad (23)$$

The system equation, Eq. (10), for 1st region can be written as,

$$\begin{bmatrix} \tilde{H}_1 & \tilde{H}_{1c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{u}_1 \\ \tilde{u}_{c1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{G}_1 & \tilde{G}_{1c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{t}_1 \\ \tilde{t}_{c1} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Similarly, the system equation, Eq. (10), for 2nd region can be written as,

$$\begin{bmatrix} \tilde{H}_2 & \tilde{H}_{2c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{u}_2 \\ \tilde{u}_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{G}_2 & \tilde{G}_{2c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{t}_2 \\ \tilde{t}_{c2} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Boundary conditions on S'_1 and S'_2 are already given in Eqs. (8) and (9). On the other hand, boundary conditions for continuity conditions on the interface S_c can be defined as follows;

$$\underline{u}_{c1} = \underline{u}_{c2} \quad ; \quad \underline{t}_{c1} = -\underline{t}_{c2} \quad (26)$$

When Eqs. (24) and (25) are combined, in the view of Eqs. (26), the system equations for the two-material composite body can be obtained as,

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{H}}_1 & 0 & \tilde{\mathbf{H}}_{1c} \\ 0 & \tilde{\mathbf{H}}_2 & \tilde{\mathbf{H}}_{2c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{u}}_1 \\ \tilde{\mathbf{u}}_2 \\ \tilde{\mathbf{u}}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{G}}_1 & 0 & \tilde{\mathbf{G}}_{1c} \\ 0 & \tilde{\mathbf{G}}_2 & \tilde{\mathbf{G}}_{2c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{t}}_1 \\ \tilde{\mathbf{t}}_2 \\ \tilde{\mathbf{t}}_c \end{bmatrix} \quad (27)$$

where,

$$\underline{\mathbf{u}}_{c1} = \underline{\mathbf{u}}_c \quad ; \quad \underline{\mathbf{t}}_{c1} = \underline{\mathbf{t}}_c \quad (28)$$

The solution of the system equation in Eq. (27) determines the unknown boundary quantities on S_1 and S_2 as well as unknown interface displacements and tractions. Having known them, the interior displacements and stresses can be computed numerically by using the boundary quantities.

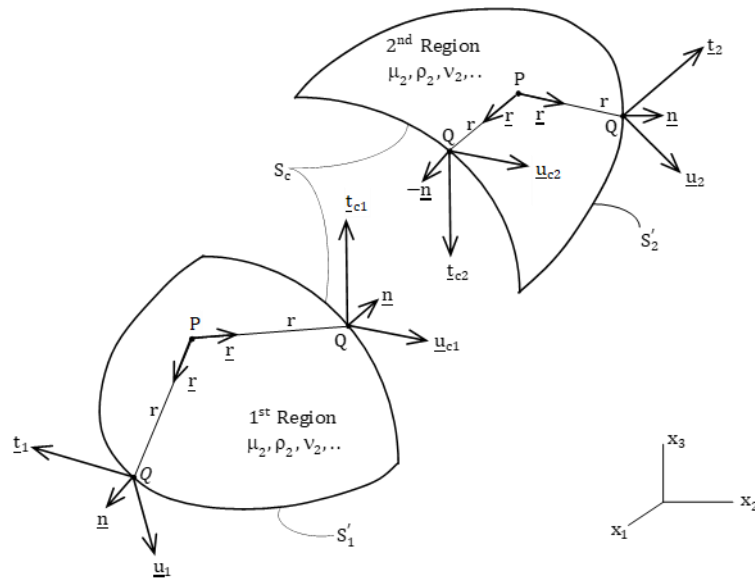


Fig. 4. Free body diagrams of 1st region and 2nd region of composite body

4. Numerical Examples

In this study, a computer program has been prepared for the mentioned BEM formulation. In this program, all calculations are performed in FTS. By using this computer program, a circular rigid foundation subjected to uniformly distributed unit load on the ground, given in Fig. 5, consisting of a half-space with an elastic layer on it, is considered and solved as a problem. In the analysis Poisson's ratio was taken as 0.5 in both regions. The elasticity modulus ratio (E_1/E_2) of both regions is 1, 2, 5, 10, 20, 50 and 100 are used as the modulus of elasticity values. The static analysis is used with the help of the prepared program. The nondimensional stress distributions in the layers were obtained at the points A(0,5a, 0, 3a), B (a, 0, 3a), C(1,1a, 0, 3a) and D(2a, 0, 3a) along the x_3 axis. The analysis is carried out in nondimensional space. The results, which were obtained using boundary element formulation are presented in Figs. 6-9. In the analysis of these problems, mesh truncation is used and the fundamental solutions are integrated with Gaussian quadrature formulas.

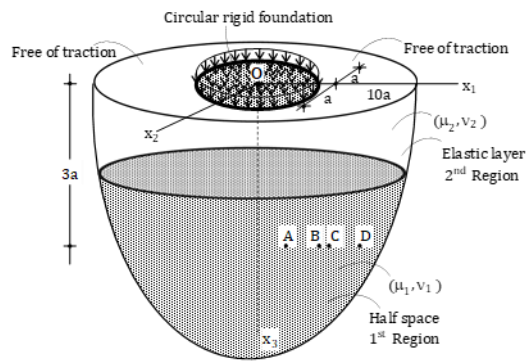


Fig. 5. Composite body under uniformly distributed circular load

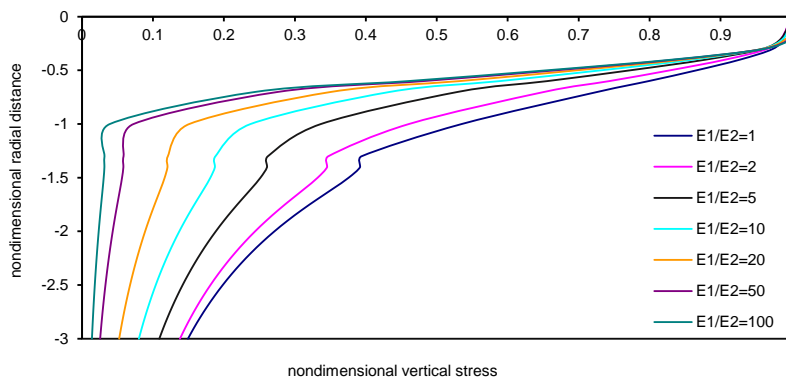


Fig. 6. Variation of vertical stress with radial distance at point A

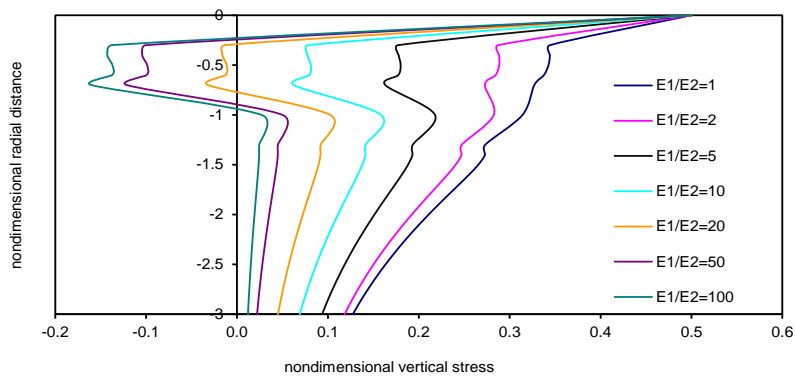


Fig. 7. Variation of vertical stress with radial distance at point B

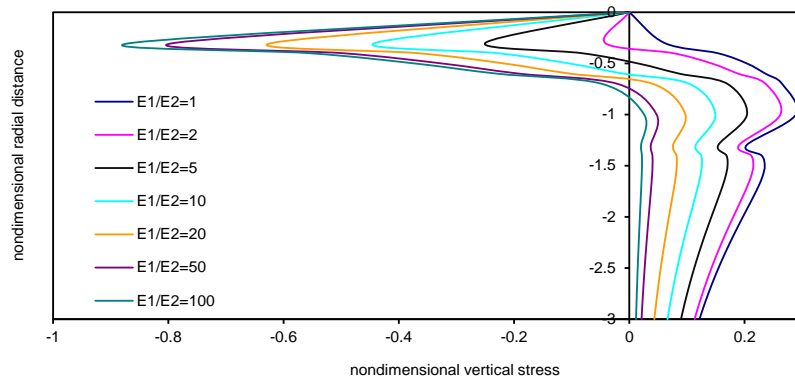


Fig. 8. Variation of vertical stress with radial distance at point C

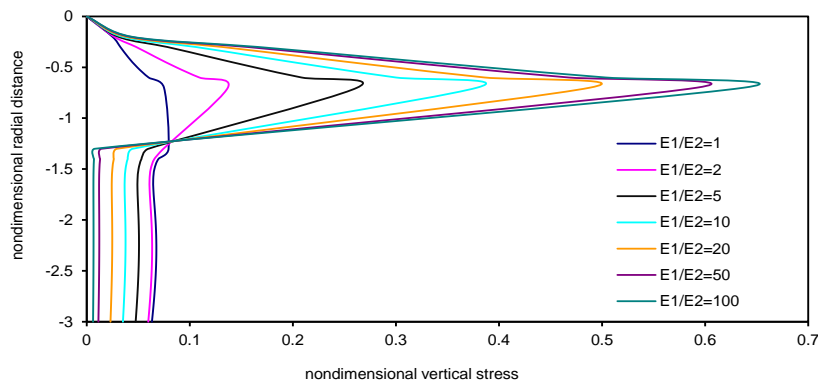


Fig. 9. Variation of vertical stress with radial distance at point D

5. Conclusions

In the study, 3-D boundary element formulation is presented. Based on the formulation, a general-purpose computer program is developed, and it is applied to pavement design problems. By using this computer program, a circular rigid foundation subjected to uniformly distributed unit load on the ground, consisting of a half-space with an elastic layer on it, is considered and solved as a problem. In this program, all calculations are performed in FTS. In the analysis of this problem, mesh truncation is used and the fundamental solutions are integrated with Gaussian quadrature formulas. The static analysis was considered for stress and deflection distributions in a layered half-space, since the purpose of the study is to analyse the influence of the load model on the pavement response, with the BEM formulation adopted for pavement design. The obtained results from the BEM formulation are presented in the figures. The results presented at Figures indicate that the formulation presented in this study can be used with good confidence in the analysis of pavement design problems consisting of a half-space with/without an elastic layer on it.

Conflict of Interest Statement

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

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

References

- Al-Qadi IL., Wang H., Yoo PJ., Dessouky SH. Dynamic analysis and in situ validation of perpetual pavement response to vehicular loading. *Transportation Research Record* 2008; 2087: 29–39.
- Andersen L., Nielsen SRK. Boundary element analysis of the steady-state response of an elastic half-space to a moving force on its surface. *Engineering Analysis with Boundary Elements* 2003; 27: 23–38.
- Banerjee PK. *The boundary element methods in engineering*. London: McGraw-Hill Book Company; 1994.
- Beskou ND., Hatzigeorgiou GD., Theodorakopoulos DD. Dynamic inelastic analysis of 3-D flexible pavements under moving vehicles: A unified FEM treatment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2016; 90: 420–431.
- Beskou ND., Theodorakopoulos DD. Dynamic effects of moving loads on road pavements: A review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2011; 31: 547–567.
- Brebbia CA., Dominguez J. *Boundary elements an introductory course*. Southampton: Computational Mechanics Publications; 1989.
- Castillo D., Gamez A., Al-Qadi I. Homogeneous versus heterogeneous response of a flexible pavement structure: strain and domain analyses. *Journal of Engineering Mechanics* 2019; 145: 04019068.
- Deneme IO., Yerli HR., Severcan MH., Tanrikulu AH., Tanrikulu AK. Use and comparison of different types of boundary elements for 2D soil-structure interaction problems. *Advances in Engineering Software* 2009; 40: 847–855.
- Djellali A., Houam A., Saghafi B., Hamdane A, Benghazi Z. Static analysis of flexible pavements over expansive soils. *International Journal of Civil Engineering* 2017; 15: 391–400.
- Duncan JM., Monismith CL., Wilson EL. Finite element analyses of pavements. *Highway Research Board* 1968; 38: 18–33.
- François S., Pyl L., Masoumi HR., Degrande G. The influence of dynamic soil-structure interaction on traffic induced vibrations in buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2007; 27: 655–674.
- Grundmann H., Lieb M., Trommer E. The response of a layered half-space to traffic loads moving along its surface. *Archive of Applied Mechanics* 1999; 69: 55–67.
- Hernandez JA., Al-Qadi IL. Tire–pavement interaction modelling: hyperelastic tire and elastic pavement. *Road Materials and Pavement Design* 2017; 18: 1067–1083.
- Hu XD., Sun LJ. Measuring tire ground pressure distribution of heavy vehicle. *Journal of Tongji*

- University 2005; 33: 1443–1448.
- Huang YH. Pavement design and analysis. New Jersey: Pearson Prentice Hall; 2004.
- Jiang X., Zeng C., Gao X., Liu Z., Qiu Y. 3D FEM analysis of flexible base asphalt pavement structure under non-uniform tyre contact pressure. *International Journal of Pavement Engineering* 2019; 20: 999–1011.
- Khavassefat P., Jelagin D., Birgisson B. A computational framework for viscoelastic analysis of flexible pavements under moving loads. *Materials and Structures* 2012; 45: 1655–1671.
- Kim SM., Roesset JM. Dynamic response of a beam on a frequency-independent damped elastic foundation to moving load. *Canadian Journal of Civil Engineering* 2003; 30: 460–467.
- Lee JH., Kim JK., Tassoulas JL. Dynamic analysis of a layered half-space subjected to moving line loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2013; 47: 16–31.
- Lombaert G., Degrande G., Clouteau D. Numerical modelling of free field traffic-induced vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2000; 19: 473–488.
- Lu YJ., Wang LJ., Yang Q., Ren JY. Analysis of asphalt pavement mechanical behaviour by using a tire-pavement coupling model. *International Journal of Simulation Modelling* 2018; 17: 245–256.
- Mamlouk MS., Davies TG. Elasto-dynamic analysis of pavement deflections. *Journal of Transportation Engineering* 1984; 110: 536–550.
- Mengi Y., Tanrikulu AH., Tanrikulu AK. Boundary element method for elastic media: an introduction. Ankara: METU Press; 1994.
- Pan G., Atluri SN. Dynamic response of finite sized elastic runways subjected to moving loads: A coupled BEM/FEM approach. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 1995; 38: 3143–3166.
- Partridge PW., Brebbia CA., Wrobel LC. The dual reciprocity boundary element method. Southampton: Computational Mechanics Publications; 1992.
- Payton RG. An application of the dynamic Betti-Rayleigh reciprocal theorem to moving-point loads in elastic media. *Quarterly of Applied Mathematics* 1964; 21: 299–313.
- Rasmussen KM., Nielsen SRK, Kirkegaard PH. Boundary element method solution in the time domain for a moving time-dependent force. *Computers and Structures* 2001; 79: 691–701.
- Siddharthan RV., Yao J., Sebaaly PE. Pavement strain from moving dynamic 3D load distribution. *Journal of Transportation Engineering* 1998; 124: 557–566.
- Sousa BJ., Lysmer J., Chen SS., Monismith CL. Effects of dynamic loads on performance of asphalt concrete pavements. *Transportation Research Record* 1988; 1207: 145–168.
- Sun L. Analytical dynamic displacement response of rigid pavements to moving concentrated and line loads. *International Journal of Solids and Structures* 2006; 43: 4370–4383.
- Vale C. Influence of vertical load models on flexible pavement response - An investigation. *International Journal of Pavement Engineering* 2008; 9: 247–255.

- Weissman SL. Influence of tire-pavement contact stress distribution on development of distress mechanisms in pavements. *Transportation Research Record* 1999; 1655: 161–167.
- Yerli HR., Deneme IO. Elastodynamic boundary element formulation employing discontinuous curved elements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2008; 28: 480–491.
- Yoder EJ., Witczak MW. *Principles of pavement design*, Second Edition. 1975.
- Yoo PJ., Al-Qadi IL. Effect of transient dynamic loading on flexible pavements. *Transportation Research Record* 2007; 1990: 129–140.
- Zheng L., Hai-lin Y., Wan-ping W., Ping C. Dynamic stress and deformation of a layered road structure under vehicle traffic loads: Experimental measurements and numerical calculations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2012; 39: 100–112.

Arsuz Ovası Topraklarının Temel Özelliklerinin Yersel Dağılımının Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi

Mehmet DEMİRCİOĞLU¹, Necat AĞCA^{2*}

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 31040, Hatay

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 31040, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0003-2614-825X>

²<https://orcid.org/0000-0003-4864-844X>

*Sorumlu yazar: e-mail: necagca@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 09.03.2022

Kabul tarihi: 01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Arsuz ovası

Toprak

Yersel dağılım

Jeostatistik

Kriging

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Arsuz ovası topraklarının temel kimyasal özelliklerini belirlemek ve bu özelliklerin alandaki yersel dağılım haritalarını oluşturmaktır. Arsuz ovasında 0-30 ve 30-60 cm derinlikten toplam 80 adet toprak örneği alınmış ve bu örneklerde pH, elektriksel iletkenlik (EC), kireç, organik madde (OM), tane irilik dağılımı (% kum, kil ve silt) ve değişebilir sodyum analizleri yapılmıştır. Yapılan t-testi sonuçlarına göre, tüm özelliklerin ortalama değerleri arasında derinliğe bağlı farklılıklar görülmüştür. Ancak, bu farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. En uygun yarıvaryogram modeli toprakların çoğunda Guassian ve exponential (üssel) olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin tamamı kuvvetli ve orta düzeyde yersel bağımlılık göstermiştir. Elde edilen sonuçlar toprak özelliklerinin ilişkili olabileceği en fazla uzaklıkların 850-7776 m arasında olduğunu göstermiştir.

Determination of Spatial Distribution of Basic Properties of the Arsuz Plain Soils with Geostatistical Methods

Research Article

Article History:

Received: 09.03.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Arsuz plain

Soil

Spatial distribution

Geostatistics

Kriging

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the basic chemical properties of the Arsuz plain soils and to create the local distribution maps of these properties in the area. A total of 80 soil samples were taken from a depth of 0-30 and 30-60 cm in the Arsuz plain and pH, electrical conductivity (EC), lime, organic matter (OM), particle size distribution (% sand, clay and silt) and exchangeable sodium contents have been determined. According to the t-test results, there were differences between the mean values of all the properties depending on the depth. However, these differences were not significant. The most suitable semivariogram models were Guassian and Exponential in most of soil properties. All soil properties showed a strong or moderate spatial dependency. The results have shown that the maximum distances that soil properties have autocorrelation was between 850-7776 m.

To Cite: Demircioğlu M., Ağca N. Arsuz Ovası Topraklarının Temel Özelliklerinin Yersel Dağılımının Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1494-1513.

1. Giriş

Bitkisel üretimde amaç, en yüksek verimi elde etmektir. Bunun için de ya birim alandan verimi artırmak ya da tarım kültürü atına alınacak alanları genişletmek gerekmektedir. İşlenerek tarım kültürüne alınabilecek toprakların sonuna gelinmiştir. Oysa dünya nüfusu sürekli ve hızlı bir şekilde artmaktadır. Artan bu nüfusun besin gereksinimlerinin karşılanması ancak toprakların bilinçli bir şekilde kullanılması ile mümkündür. Bu nedenle toprakların temel özelliklerinin bilinmesi ve bu temel özelliklerinin yersel değişiminin belirlenmesi, bu kaynağın sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Toprak özelliklerinin mekânsal (yersel) değişkenliği, toprak oluşum faktörleri ve insan faaliyetlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Toprak özelliklerindeki bu mekânsal değişkenlikleri anlamak; hem tarımsal üretimi iyileştirerek sürdürülebilir tarımsal ekosistemlerin oluşmasına, hem de çevresel sorunların azaltılmasına ve sürdürülebilir tarımsal ekosistemlerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Bogunovic ve ark., 2021; John ve ark., 2021).

Tarımsal ekosistemlerde toprak özelliklerinin yersel ve zamansal karakterizasyonu, toprak fonksiyonlarının gelişimini izlemek ve ana etkili süreçleri anlamak için çok önemlidir. Ayrıca, tarımsal ekosistemlerdeki toprak özelliklerinin objektif olarak haritalanmasına, bölgesel planlama amaçları ve uygun arazi yönetimi uygulamalarının seçimi için acilen ihtiyaç duyulmaktadır (Bogunovic ve ark., 2017).

Toprakların kalitelerinin korunarak sürdürülebilir kullanımlarının sağlanması, tarımsal üretimin devamlılığı ve gıda güvenliği açısından son derece önemlidir. Topraklarda sürdürülebilirlik, toprak yönetiminin doğru planlanmasına ve toprak kalitesinin düzenli takip edilmesine bağlıdır. Ancak, geniş alanlarda toprakların kalite değişiminin belirlenmesi için çok sayıda toprak örneğinin alınması ve analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu durum büyük bir emek, para ve zaman gerektirmektedir. Bu nedenle örneklenmeyen noktalarda toprak özelliklerinin doğru tahminini mümkün kılacak ara değer tahmin (enterpolasyon) yöntemlerinin belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Bu sayede, daha az noktada yapılacak örnekleme ile geniş alanlarda doğru bilgi üretmek ve buna bağlı olarak doğru planlama yaparak uygun toprak yönetim sistemlerini belirlemek mümkün olacaktır (Özdemir ve ark., 2019).

Topraklar heterojen bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle de birçok fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından değişiklik göstermektedirler. Bu açıdan bakıldığında klasik istatistikî yöntemler, toprağın yersel olarak gösterdiği değişkenliği belirlemede yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, toprağa ait bilgi toplamak için yapılan örnekleme ve analizler kolay ve ekonomik değildir. Bu nedenle, toprağa ait değişkenliklerin önemli ölçüde var olup olmadığını değerlendirmek ve daha detaylı araştırmalar için yatırım yapmadan önce düşük maliyetli yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yersel değişkenliği belirleyen analiz yöntemleri, toprak özelliklerindeki değişkenliklerin analizinde kullanılan ve sık sık başvurulan önemli yöntemlerin başında yer almaktadır (Turgut ve Öztaş, 2012).

Yersel değişkenliği belirleyen analiz yöntemlerinden en önemlisi jeoistatistiktir. Jeoistatistik, ölçülen herhangi bir özelliğin yersel yapısını ve yersel bağımlılığını inceleyen, bunları sayısallaştıran ve

buradan elde edilen ilişkileri kullanarak anılan özelliğin örneklenmemiş noktalarındaki değerlerini tahmin eden, o özelliğin herhangi bir alandaki dağılım haritasını oluşturabilen uygulamalı istatistiğin bir koludur (Isaaks ve Srivastava, 1989). Toprak biliminde jeostatistiğin ana uygulama alanı, örneklenmemiş alanlardaki toprak özelliklerinin, örneklenmiş noktalardaki özelliklerden tahmin edilmesi ve haritalanmasıdır (Goovaerts, 1999).

Khadka ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, Nepal'in Jumla bölgesinde bulunan Bahçe Bitkileri Araştırma İstasyonu toprak özelliklerinin mekânsal dağılımı belirlenmiştir. Çalışmada, istasyondan alınan toprak örnekleri standart analiz yöntemlerine göre analiz edilmiş ve ölçülen parametrelerin yersel dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonunda, üretilen dağılım haritalarının; sürdürülebilir toprak yönetimi ve çiftlikte geleceğe yönelik araştırma stratejisi geliştirme çalışmalarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Doğu Hırvatistan'daki ekili alanlarda tek değişkenli ve çok değişkenli yöntemler kullanarak; toprakların pH, organik madde, alınabilir fosfor ve potasyum içeriklerinin yersel değişkenliği incelenmiştir. Çalışma sonunda; pH'ının hafif asidik, organik madde içeriğinin düşük, alınabilir fosfor ve potasyum içeriklerinin ise yeterli olduğu belirlenmiştir. Ancak, alınabilir fosfor ve potasyum içeriklerinin çalışma alanında heterojen dağılması nedeniyle bazı alanlarda gübreleme yapılması gerektiği ve organik maddenin düşük olmasının da antropojenik etkilerden kaynaklandığı belirlenmiştir (Bogunovic ve ark., 2021).

Arsuz ovası, Hatay iline bağlı Arsuz ilçesinde yer almaktadır. Ova, Hatay Toprak Koruma Kurulu tarafından, Amik ovası ile birlikte büyük ova koruma alanı olarak önerilmiş ve 21. 01. 2017 tarihli resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 2016/9620 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile büyük ova koruma alanı olarak ilan edilmiştir. Ovanın koruma altına alınmasına rağmen, ova toprakları ile ilgili olarak şimdiye kadar fazla bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile ova topraklarının temel özellikleri belirlenmiş ve bu özelliklerin yersel dağılımı saptanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Yaklaşık 4500 hektarlık bir alan kaplayan Arsuz ovası, Hatay ili Arsuz ilçesi sınırları içinde yer almaktadır (36°29'42.22" K ile 36°1'8.71"D ve 36°23'37.67"K ile 35°52'10.57" D) (Şekil 1). Ovanın batısında Akdeniz, doğusunda Amanos dağları, kuzeyinde İskenderun, güneyinde ise Samandağ ilçesi yer almaktadır (Anonim, 2016). Çalışma alanı, yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Alanda ortalama yıllık yağış 1121,6 mm ortalama sıcaklık ise 18,3 °C'dir. En fazla yağış Ocak, en az yağış ise Haziran ayında kaydedilmiştir. Hatay'da ortalama en yüksek sıcaklık 31,9 °C ile Ağustos ayında, ortalama en düşük sıcaklık ise 4,6 °C ile Ocak ayında kaydedilmiştir. İldeki ortalama yağışlı gün sayısı 90,3 olup, yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 86,1 saat olarak belirlenmiştir (Anonim, 2019).

Arsuz ovasının hemen hemen tamamı tarım kültürü altındadır. Ovada en fazla yetiştirilen ürünler; maydanoz, buğday, zeytin, limon ve kayısı, narenciye, nar, çilek, şeftali ve sebzedir (Anonim, 2017). Arsuz ovası, Amanos dağlarının batı yamaçlarında bulunan akarsuların taşımış oldukları alüvyonların, eğimin azaldığı yerlerde birikmesi sonucu oluşmuştur (Karataş ve Korkmaz, 2012). Ovanın ortalama denizden yüksekliği 30 m olup, eğimi % 0-20 arasında değişmektedir (Çetinkaya ve Özşahin, 2013). Mülazımoğlu (1979)'a göre, araştırma alanının Doğu-Güneydoğu yönünde bulunan Amanos Dağları'nın temelini oluşturan formasyonlar; kumtaşı, kuvarsit ve yeşil renkli şistlerden oluşmaktadır. Bu formasyonlar araştırma alanının yakın çevresinde bulunmakla birlikte, genellikle Prekambriyen ile Paleozoyik yaşlıdır. Amanos Dağlarında Mezozoyik (yaşlı kireç taşları ve yeşil kayaçlar) ve Tersiyer yaşlı araziler oldukça yaygındır. Kireç taşları; eski kütle arazileri (masif), kristalleşmiş, dayanıklı ve sağlam bir yapıya sahip olup, yüksek dağlık kesimlerde bulunmaktadır. Serpantinler ve yeşil kayaçlar Amanos Dağlarının batısında ve özellikle güney kısmında bulunmaktadır. Serpantinleşmiş bu kayaçlar Laramiyen fazında meydana gelmiş bazik ve ultra bazik denizaltı lavlarının daha sonradan hidrasyonu esnasında oluşmuşlardır (Demirbilek, 2019). Yavuz (1996)'a göre, Arsuz Ovası'nda yeraltı suyu seviyesi kıyı kesimlerde yüzeye yakın iken, kıyıdan uzaklaştıkça su tablasının derinliği artmaktadır. Kıyıdan uzaklaşıldıkça, yükseltinin artmasına paralel olarak yeraltı su seviyesi 40 m derine kadar inebilmektedir (Demirbilek, 2019).

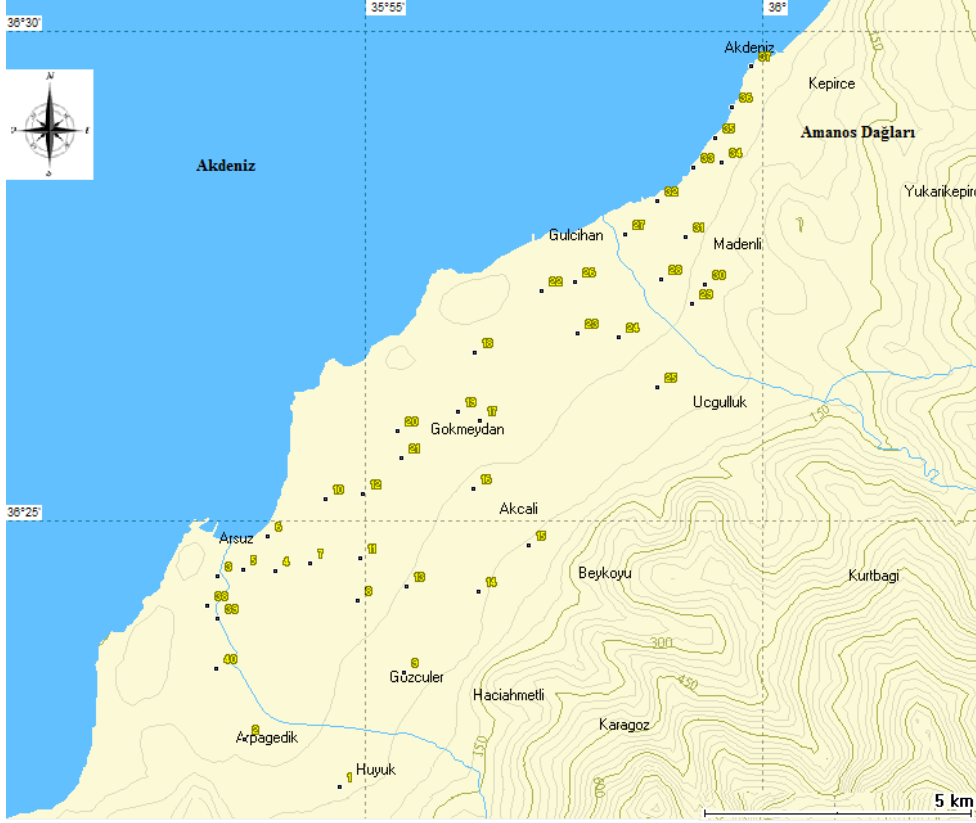
2.2. Metot

Bu çalışmada, rastgele örnekleme yöntemi ile Arsuz ovasında 40 noktadan 0-30 ve 30-60 cm derinlikten, çalışma alanını temsil edecek şekilde toplam 80 adet bozulmuş toprak örneği alınmıştır (Şekil 1). Ayrıca, toprak örneklerinin alındığı noktaların UTM sistemine göre coğrafi koordinatları GPS aleti ile belirlenmiştir.

Alınan toprak örneklerinde; pH, elektriksel iletkenlik (EC), kireç, organik madde (OM), tane irilik dağılımı (% kum, kil ve silt) ve değişebilir sodyum (Na) analizleri yapılmıştır. pH ve EC değerleri 1/2,5 toprak-su süspansiyonunda ölçülmüştür (Richards, 1954). Değişebilir sodyum amonyum asetat yöntemi ile (Knudsen ve ark., 1982), kireç içeriği Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Allison ve Moode, 1965). Toprakların organik madde içerikleri modifiye edilmiş Lichterfelder yöntemi ile (Schlichting ve Blume, 1966), bünye ise hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951) saptanmıştır.

Araştırma konusu topraklara ait bütün parametrelerin tanımlayıcı istatistik analizleri (ortalama, median, en düşük ve en yüksek değerler, standart sapma, varyasyon katsayısı, yatıklık, basıklık vb.) yapılmıştır. Değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği yatıklık (skewness) katsayılarının yorumlanması ile değerlendirilmiştir (Liu ve ark., 2006). Ayrıca, toprak özelliklerinin toprak derinliğine bağlı değişiminin önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla, tüm verilere t-testi uygulanmıştır. Tüm istatistik analizler için Windows uyumlu SPSS 19 istatistik paket programı kullanılmıştır.

Topraklar ile ilgili parametrelerin yersel dağılımının belirlenmesinde ve haritalanmasında Jeostatistiksel analizlerden yararlanılmıştır (Mulla ve McBratney, 2000). Tüm jeostatistik analizler Windows uyumlu GS⁺ (sürüm 10) Jeostatistik paket programı ile yapılmıştır (Gamma design, 2008).



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu ve örnekleme noktaları

Normal dağılım göstermeyen veri setlerine dönüşüm uygulandıktan sonra jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Jeostatistiksel analizlerde önce, toprak parametrelerinin ölçüm noktaları arasındaki otokorelasyon, diğer bir deyişle aralarındaki uzaysal bağımlılığın derecesi belirlenmiş ve en uygun yarıvaryogram modeli saptanmıştır. Sonra, her bir toprak parametresi için dağılım haritaları üretilmiştir. Haritaların üretilmesinde, Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak, örneklenmeyen noktalardaki değerler tahmin edilmiş ve dağılım paterni belirlenmiştir. Daha sonra ise her bir parametrenin iki boyutlu dağılım haritası oluşturulmuştur (Mulla ve McBratney, 2000).

Toprak özelliklerinin uzaysal bağımlılıklarının değerlendirilmesinde nugget yarı varyansın (C_0) toplam varyansa ($C_0 + C$) oranının yüzdesi kullanılmıştır. Bu oranın %25 veya daha düşük olması uzaysal bağımlılığın kuvvetli, %25-75 arasında olması orta, %75'den büyük olması ise zayıf uzaysal bağımlılık zayıf olarak değerlendirilmektedir (Cambardella ve ark., 1994).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Topraklarının tanımlayıcı özellikleri

Araştırma bölgesi topraklarının tanımlayıcı analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Topraklarda pH değerleri, yüzey toprağında 7,78 (40 nolu örnek) ile 9,08 (35 nolu örnek), alt toprakta ise 7,92 (24 nolu örnek) ile 9,30 (1 nolu örnek) arasında değişmiştir. Bu değerler, çalışma alanında pH değerlerinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, büyük olasılıkla toprakların oluştuğu ana materyalden kaynaklanmaktadır. Zira Arsuz ovası, Amanos dağlarının batı yamaçlarında bulunan akarsuların taşımış oldukları alüvyonların birikmesi sonucu oluşmuştur (Karataş ve Korkmaz, 2012). Amanos Dağlarında ise Mezozoyik (yaşlı kireç taşları ve yeşil kayaçlar) ve Tersiyer yaşlı araziler oldukça yaygındır (Demirbilek, 2019). Toprakların % 40’ı Çok kuvvetli bazik (pH= 7,5-8,5 arası), % 60’ı ise alkali (pH>8,5) reaksiyonludur. Toprak özelliklerine uygulanan t-testi sonuçlarına göre; Ortalama pH değeri üst toprakta (0-30 cm), alt topraktan (30-60 cm) daha düşük bulunmuştur. Ancak, pH değerleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Diğer yandan, toprak pH’larında en düşük ve en yüksek değerleri arasındaki farkın çok fazla olmadığı belirlenmiştir (Tablo 1). Bu durum varyasyon katsayısında da belirgin olarak görülmektedir.

Çalışma alanındaki topraklarda EC değerleri üst toprakta 0,152 (9 nolu örnek) ile 1,095 (30 nolu örnek) $dS m^{-1}$, alt toprakta ise 0,137 (3 nolu örnek) ile 1,569 (10 nolu örnek) $dS m^{-1}$ arasında değişmiştir. Toprakların tamamında EC değerleri topraklar için tuzluluk sınırı olan 4 $dS m^{-1}$ (Richards, 1954)’nin altında olması nedeniyle, çalışma alanı topraklarında tuzluluk sorunu bulunmamaktadır. Üst toprak örneklerine ait ortalama elektriksel iletkenlik (EC) değeri (0,355 $dS m^{-1}$), alt toprak örneklerinkinden (0,350 dSm^{-1}) daha yüksektir. Ancak, toprak katmanları arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli değildir. Her iki katmanda da toprakların en küçük ve en yüksek EC değerleri arasındaki farklılığın da oldukça az olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bu durum varyasyon katsayısı (VK) değerlerinden de görülmektedir.

Toprakların Na içerikleri üst katmanlarda 0,11–1,95 me/100 g, alt katmanlarda ise 0,14 – 2,01 me/100 g arasında değişmektedir. Üst toprağın ortalama Na içeriği (0,47 me/100 g), alt toprak katmanının ortalama Na içeriğinden (0,56 me/100 g) düşük olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Topraklarda değişebilir sodyum fazla miktarda bulunduğu; su geçirgenliği ve havalanmanın azalması gibi sorunlara neden olarak bitkileri dolaylı olarak etkilemektedir. Topraklarda değişebilir sodyum miktarının fazla olması, kil minerallerinde şişme ve dispersiyonu artırmakta, bu da topraklarda strüktürün bozulmasına, hidrolik iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır. Dispersiyon aynı zamanda sıkışmaya ve fide çıkışını engelleyen geçirimsiz yüzey kabuklarının oluşumuna neden olmaktadır (Bresler ve ark., 1982).

Toprakların kireç içerikleri; yüzey katmanında % 0,0 (3 ve 40 nolu örnekler) ile % 25,5, alt toprakta ise % 0,15 (39 nolu örnek) - % 24,04 (35 nolu örnek) arasında değişmiştir. Toprakların % 7,5’i az kireçli (% 0-1 arası), % 2,5’i kireçli (%1-5 arası), % 50’si orta kireçli (% 5- 15 arası), ve % 40’ı sı

ise çok kireçli (%15-25 arası) (Alpaslan ve ark., 2005). Üst toprağın ortalama kireç içeriği (%13,01) de alt toprak katmanının ortalama kireç içeriğinden (%12,81) biraz yüksek olmasına rağmen, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Tablo 1. Araştırma konusu toprakların tanımlayıcı istatistik analiz ve t-testi sonuçları

Parametre	Derinlik (cm)	En az	En fazla	Ortalama	SS	VK	Yatıklık	Basıklık	t-testi sonuçları
pH	0-30	7,78	9,08	8,53	0,262	3,07	-0,56	0,88	t : -1,26
	30-60	7,92	9,30	8,60	0,243	2,82	0,07	1,90	p: 0,26
EC (dSm ⁻¹)	0-30	0,152	1,095	0,355	0,162	45,6	2,54	10,30	t : -0,12
	30-60	0,137	1,569	0,350	0,220	62,8	4,55	25,17	p: 0,91
Na (me/100g)	0-30	0,11	1,95	0,47	0,361	76,8	2,21	6,33	t : -0,85
	30-60	0,14	2,01	0,56	0,464	83,0	2,05	3,88	p : 0,40
Kireç (%)	0-30	0,00	25,54	13,01	6,745	51,8	-0,32	-0,72	t : 0,14
	30-60	0,15	24,08	12,81	6,147	48,0	-0,50	-0,345	p : 0,89
OM (%)	0-30	1,24	3,97	2,54	0,516	20,3	0,16	0,71	t : 1,74
	30-60	1,58	3,55	2,36	0,388	16,4	0,42	0,89	p : 0,08
Kum (%)	0-30	37,5	77,8	51,5	7,760	15,1	0,88	2,28	t : 1,00
	30-60	32,6	76,1	49,7	8,376	16,8	0,55	1,76	p : 0,32
Silt (%)	0-30	7,30	29,2	18,7	4,825	25,8	-0,29	0,82	t : -0,40
	30-60	6,22	29,6	19,1	4,686	24,5	0,08	0,67	p : 0,69
Kil (%)	0-30	13,6	43,3	29,8	6,415	21,5	0,02	0,24	t : -0,97
	30-60	17,7	45,6	31,2	6,366	20,4	0,17	-0,04	p : 0,33

SS: Standart sapma, VK: Varyasyon katsayısı (%), OM: Organik madde

Çalışma alanındaki toprakların organik madde içerikleri üst katmanda % 1,24 (29 nolu örnek) - % 3,97 (23 nolu örnek), alt katmanlarda ise % 1,58 (36 nolu örnek) - % 3,55 (32 nolu örnek) arasında değişmiştir. Toprakların organik madde içeriklerinin üst katmanların % 10'unda az (% 1-2 arası), % 67,5'inde orta (% 2-3 arası), % 22,5'inde iyi düzeyde iken, alt katmanların % 12,5'inde az (% 1-2 arası), % 85'inde orta (% 2-3 arası), sadece % 2,5'inde iyi (Alpaslan ve ark., 2005) düzeyde olduğu belirlenmiştir. Yüzey toprağın ortalama organik madde içeriği (% 2,54), alt toprağinkinden (% 2,36)

daha yüksek bulunmuştur. Ancak, organik madde içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Toprakların üst katmanlarının kum içeriği % 37,5 (23 nolu örnek) ile % 77,8 (40 nolu örnek), alt toprak katmanlarında ise %32,6 (31 nolu örnek) ile % 76,1 (40 nolu örnek) arasında değişmiştir. Üst toprağın ortalama kum içeriği (% 51,51), alt toprak katmanının ortalama kum içeriğinden (% 49,70) yüksek olmasına rağmen, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli olmamıştır. Toprakların silt içerikleri üst katmanlarda % 6,2 (40 nolu örnek) ile % 29,6 (31 nolu örnek), alt katmanlarda ise % 7,32 (23 nolu örnek) ile % 29,2 (10 nolu örnek) arasında değişmiştir. Toprakların üst ve alt katmanlarının ortalama silt içeriklerinin birbirlerine çok yakın olması nedeniyle aralarında herhangi bir istatistiksel farklılık görülemez. Toprakların kil içerikleri üst katmanlarda % 13,6 (40 nolu örnek) ile % 43,3 (20 nolu örnek), alt katmanlarda ise % 17,7 (40 nolu örnek) ile % 45,6 (22 nolu örnek) arasında değişmiştir. Ortalama kil içerikleri üst toprakta, alt topraktan düşük olup, katmanlar arasındaki bu farklılık da istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (Tablo 1).

Toprakların tane irilik dağılımları incelendiğinde bünye içerisinde her iki katmanda da kum fraksiyonunun baskın olduğu ve buna bağlı olarak da, toprakların % 75'inin bünye sınıfının kumlu killi tın olduğu belirlenmiştir. Kum fraksiyonunu sırasıyla kil ve silt fraksiyonlarının izlediği görülmüştür. Kumlu killi tın bünye sınıfını azalan sıra ile killi tın, kil, kumlu kil, kumlu tın ve tın izlemektedir.

Topraklarda en düşük varyasyon katsayısının (VK), her iki katmanda da pH değerlerinde olduğu görülmüştür. Bu konuda; Sharma ve ark. (2020), Abdennour ve ark. (2020), Li ve ark. (2021) ve AbdelRahman ve ark. (2021) de benzer sonuçlar bulmuşlardır. Varyasyon katsayısının oldukça düşük olması, pH değerlerinin çalışma alanında homojen dağıldığını göstermektedir. Bu durum değerlerinde de ortaya çıkmıştır. Yatıklık, verilerin normal dağılım göstermeyip, dağılım eğrisinde sağa veya sola kayması olarak adlandırılır. En düşük yatıklık değerinin alt katmandaki pH değerinde olduğu görülmektedir. pH değerlerinden sonra en büyük VK değerlerinin sırasıyla kum, organik madde, kil, silt ve kireç içeriklerinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek VK değerleri ise Na ve EC değerlerinde belirlenmiştir (Tablo 1). Sharma ve ark. (2020) ve Abdurahman ve ark. (2021) de yaptıkları çalışmalarda EC değerleri için varyasyon katsayısını benzer şekilde yüksek bulmuştur. Toprak özelliklerinin varyasyon katsayıları arttıkça, çalışma alanındaki dağılımlarının homojenliği azalmaktadır.

3.2. Toprak özelliklerinin yersel değişim modelleri ve parametreleri

Arsuz ovası topraklarının temel özelliklerinin mesafeye bağlı olarak değişkenliğini gösteren model ve model parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Tüm toprak özellikleri için en uygun yarıvaryogram modelini belirlemek amacıyla aktif ayırma mesafesi 7930 m olarak alınmıştır. Ayrıca, bütün özellikler için her iki derinlikte de en uygun yarıvaryogram modelini oluşturmak amacıyla tüm veriler değerlendirilmeye alınmıştır. Yarıvaryogram modellerinin tamamı izotropik olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki pH değerlerinin yatıklık değerlerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modellemelerden önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 523 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 515 m olarak belirlenmiştir. pH değerleri için en uygun yarıvaryogram modeli 0-30 cm derinlik için Guassian, 30-60 cm derinlik için ise Spherical (küresel) olarak saptanmıştır (Tablo 2). Toprakların pH değerlerine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olup, pH değerleri çalışma alanında yüzey katmanında orta düzeyde, yüzey altı katmanında ise kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994). Toprakların pH değerleri için etki aralığı (A₀) değeri üst toprakta 1040 m, alt toprakta ise 1550 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Etki aralığı (A₀) değeri, incelenen herhangi bir toprak özelliğinin belirlenen değerlerinin uzaysal (yersel) olarak bağımlı olabileceği maksimum uzaklığı belirtmektedir. Diğer bir deyişle, bu noktadan sonra incelenen toprak özelliğinin, uzaysal bağımlılık göstermediğini veya rastgele bir dağılım gösterdiğini belirtmektedir (Goovaerts, 1999).

Tablo 2. Toprak özelliklerine ait yarıvaryogram parametreleri

Toprak Özelliği	Derinlik (cm)	Model	A ₀ (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
pH	0-30	Guassian	1040	0,024	0,063	38,57	0,579
	30-60	Küresel	1550	0,002	0,060	3,33	0,373
EC	0-30			Saf nugget			
	30-60	Küresel	1420	0,011	0,172	6,4	0,242
Kireç	0-30	Guassian	990	0,100	41,94	0,24	0,550
	30-60	Küresel	3010	3,900	36,8	10,6	0,458
Na	0-30	Guassian	910	0,144	0,397	36,27	0,626
	30-60	Guassian	1240	0,144	0,434	33,18	0,736
Organik Madde	0-30			Saf nugget			
	30-60	Küresel	850	0,0001	0,137	0,072	0,123
Kum	0-30	Küresel	4350	0,011	0,022	48,7	0,711
	30-60	Küresel	1890	0,100	68,25	0,146	0,785
Silt	0-30	Doğrusal	7776	20,970	20,97	100	0,244
	30-60	Guassian	850	0,010	21,48	0,046	0,705
Kil	0-30	Üssel	7320	28,500	57,01	50,0	0,803
	30-60	Üssel	1130	11,300	45,55	24,8	0,711

Çalışma alanındaki toprakların EC değerlerinin yatıklık değerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modellemelerden önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. AbdelRahman ve ark. (2021)' de yaptıkları çalışmada EC değerlerine herhangi bir dönüşüm uygulamazken, Sharma ve ark. (2020) ise logaritmik dönüşüm uygulamışlardır. En uygun yarıvaryogram modeli için ayırma

mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 518 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 545 m olarak belirlenmiştir. Toprakların yüzey altı katmanındaki EC değerlerine ait nugget/sill oranları oldukça düşük olup, EC değerleri çalışma alanında kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994).

Toprakların EC değerleri için A değerleri alt toprakta 1420 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Çalışma alanındaki yüzey toprak katmanlarının elektriksel iletkenlik (EC) değerleri arasında yapısal varyans tanımlanamamış ve örneklerin ölçüm değerlerinin aralarındaki mesafeden bağımsız olduğu ve varyansın tesadüfi değerler ürettiği (saf nugget) belirlenmiştir. Yüzey altı toprak katmanının EC değerlerinin ölçülen alan içerisindeki yapısal varyansına ait modellemede en uygun yarıvaryogram modelinin spherical (küresel) olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki toprakların Na içeriklerinin yatıklık değerinin yüksek olması nedeniyle, jeostatistiksel modelleme yapmadan önce herhangi her iki katmanda da logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 514 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 553 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvaryogram modeli her iki derinlik için de Guassian olarak saptanmıştır (Tablo 2). Toprakların Na içeriklerine ait nugget/sill oranları birbirine oldukça benzer olup, Na değerleri çalışma alanında her iki katmanında da orta düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994). Toprakların Na içerikleri için A_0 değerleri üst toprakta 910 m, alt toprakta ise 1240 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanındaki toprakların kireç içeriklerinin yatıklık (skewness) değerlerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modelleme yapmadan önce her iki katmanda da herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 556 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 537 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvaryogram modeli yüzey katmanı için Guassian, yüzey altı katmanı için ise Spherical (küresel) olarak saptanmıştır (Tablo 2). Toprakların kireç içeriklerine ait nugget/sill oranları birbirine benzer olup, kireç değerleri çalışma alanında her iki katmanında da orta kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994). Toprakların kireç içerikleri için A_0 değerleri üst toprakta 990 m, alt toprakta ise 3010 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanındaki toprakların organik madde içeriklerinin yatıklık değerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modellemelerden önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 534 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 552 m olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki yüzey toprak katmanlarının organik madde içerikleri arasında yapısal varyans tanımlanamamış ve örneklerin ölçüm değerlerinin aralarındaki mesafeden bağımsız olduğu ve varyansın tesadüfi değerler ürettiği (saf nugget) belirlenmiştir. Yüzey altı toprak katmanının organik madde içeriklerinin ise ölçülen alan içerisindeki yapısal varyansına ait modellemede en uygun semivariogram modelinin isotropik Spherical (küresel) model olduğu belirlenmiştir. Toprakların yüzey altı katmanındaki organik madde içeriklerine ait

nugget/sill oranları oldukça düşük olup, bu katmandaki organik madde içerikleri çalışma alanında kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994). Toprakların organik madde içerikleri için A_0 değerleri alt toprakta 850 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanındaki toprakların yüzey katmanındaki kum içeriklerinin yatıklık değerlerinin yüksek olması nedeniyle, jeostatistiksel modelleme yapmadan önce logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Yüzey altı katmanın basıklık değerleri ise düşük olduğundan, bu katmanda da herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 515 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 557 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvaryogram modeli her iki toprak katmanı için de Spherical (küresel) olarak saptanmıştır. Toprakların kum içeriklerine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olup, kum içeriği değerleri çalışma alanında 0-30 cm katmanında orta, 30-60 cm katmanında ise kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir. Toprakların kum içerikleri için A_0 değerleri üst toprakta 4350 m, alt toprakta ise 1890 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Çalışma alanındaki toprakların her iki katmanındaki silt içeriklerinin yatıklık değerlerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modelleme yapmadan önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 576 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 549 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvaryogram modeli yüzey katmanı için lineer (doğrusal), yüzey altı katmanı için ise Guassian olarak saptanmıştır. Toprakların silt içeriklerine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olup, silt içeriği değerleri çalışma alanında 0-30 cm katmanında zayıf, 30-60 cm katmanında ise kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir (Cambardella ve ark., 1994). Toprakların silt içerikleri için A_0 değerleri üst toprakta 7776 m, alt toprakta ise 850 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

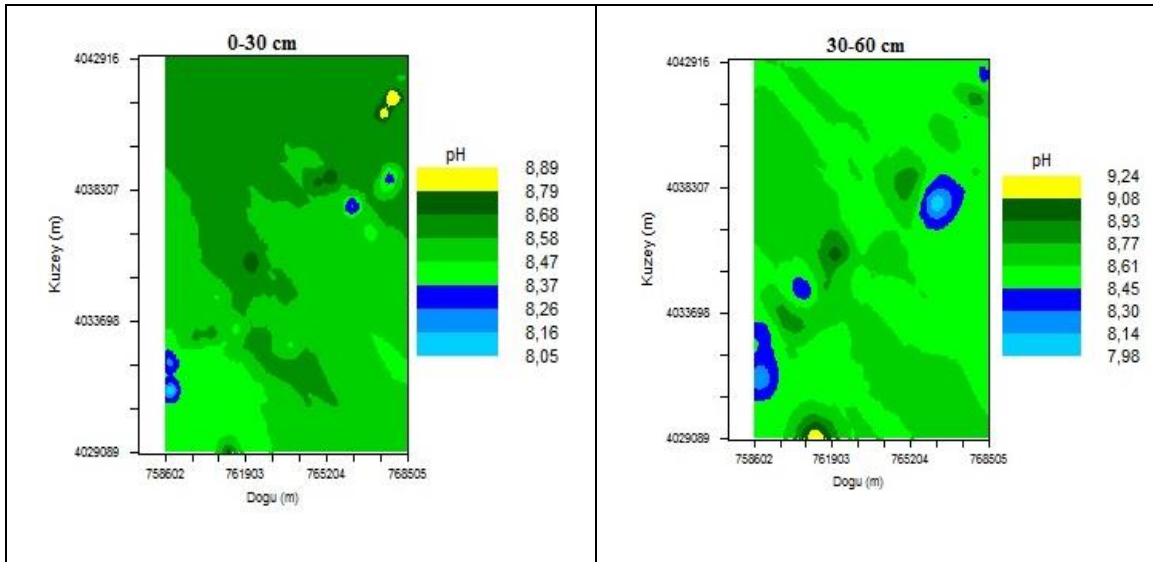
Çalışma alanındaki toprakların her iki katmanındaki kil içeriklerinin yatıklık değerlerinin düşük olması nedeniyle, jeostatistiksel modelleme yapmadan önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. En uygun yarı varyogram modeli için ayırma mesafeleri 0-30 cm derinlik için eşit şekilde 515 m, 30-60 cm derinlik için ise yine eşit şekilde 562 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvaryogram modeli her iki toprak derinliği için de Exponential (üsset) olarak saptanmıştır. Toprakların kil içeriklerine ait nugget/sill oranları birbirinden farklı olup, kil içeriği değerleri çalışma alanında 0-30 cm katmanında orta, 30-60 cm katmanında ise kuvvetli düzeyde uzaysal (yersel) bağımlılık göstermiştir. Toprakların kil içerikleri için A_0 değerleri üst toprakta 7320 m, alt toprakta ise 1130 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

3.3. Toprak özelliklerinin yersel dağılımı

Tüm toprak özelliklerinin yersel değişim haritaları oluşturulurken 2x2 blok kriging otokorelasyon yöntemi uygulanmıştır.

pH

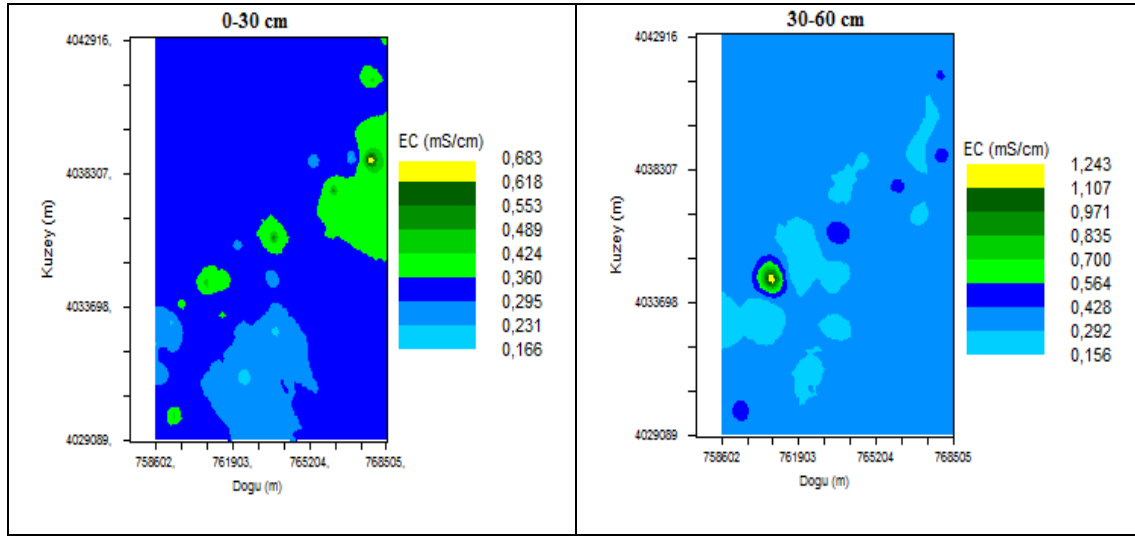
İnceleme alanında en çok karşılaşılan pH değerleri yüzey toprağında 8,47-8,58, yüzey altı toprak katmanında ise 8,45-8,61 arasında, en az karşılaşılan pH değerleri ise yüzey katmanı için 8,26-8,37, yüzey altı katmanı için ise 8,30-8,45 arasında yer almıştır. Toprakların pH değerlerine ait yersel dağılım paterni incelendiğinde, pH'nın en yüksek değerleri; yüzey katmanında çalışma alanının kuzey doğusunda, yüzey altı katmanında ise güneyindeki lokal bir alanda olduğu görülmektedir (Şekil 2). Çalışma alanında yağış miktarının fazla olmasına rağmen pH değerlerinin yüksek olması, büyük olasılıkla toprakların kireçli ana materyal üzerinde oluşmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 2. Toprakların pH değerlerinin yersel dağılım haritası

EC

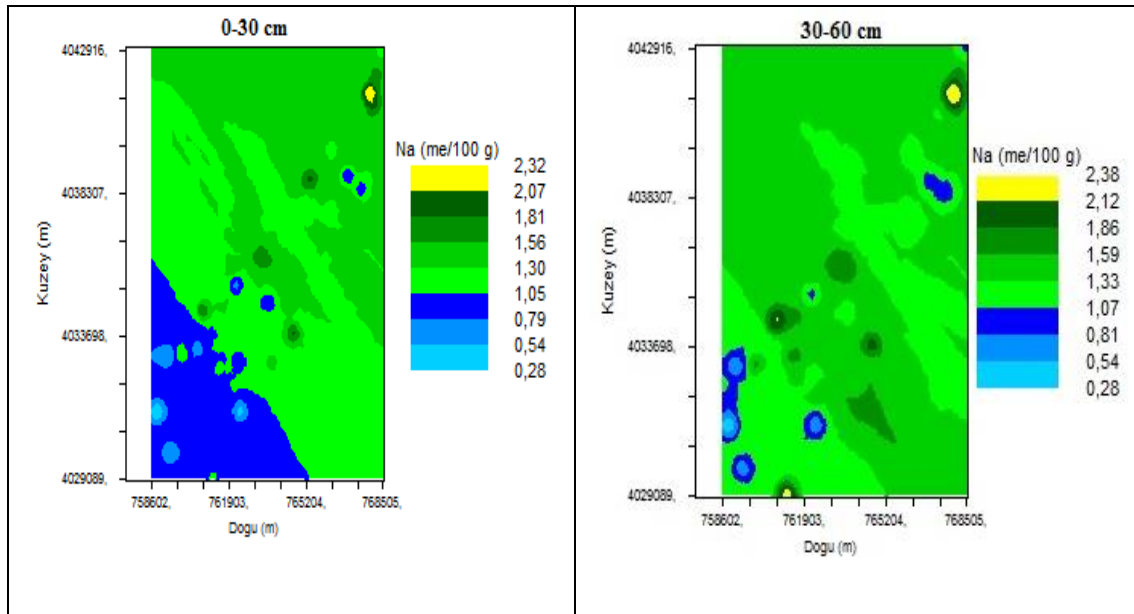
Çalışma alanındaki yüzey katmanının EC değerlerinin yersel dağılımı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır ($r^2=0$). İnceleme alanında en çok karşılaşılan EC değerleri yüzey toprağında 0,295-0,360 dSm⁻¹, yüzey altı toprak katmanında ise 0,290 - 0,430 dS m⁻¹ arasında, en az karşılaşılan EC değerleri ise yüzey katmanı için 0,618-0,683 dS m⁻¹, yüzey altı katmanı için ise 1,107-1,243 dSm⁻¹ arasında yer almıştır. Toprakların EC değerlerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, EC'nin en yüksek değerleri; yüzey katmanında çalışma alanının doğusundaki, yüzey altı katmanında ise batısındaki lokal bir alanda olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Toprakların EC değerlerinin yersel dağılım haritası

Na

İnceleme alanında en çok karşılaşılan Na içerikleri yüzey toprağında 1,05-1,30 me/100 g, yüzey altı toprak katmanında ise 1,33-1,59 me/100 g arasında, en az karşılaşılan Na değerleri ise yüzey katmanı için 2,07-2,32 me/100 g, yüzey altı katmanı için ise 2,12-2,38 me/100 g arasında yer almıştır. Toprakların Na değerlerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, Na'un en yüksek değerleri; her iki katmanda da alanın kuzey doğusundaki yerel bir alanda olduğu görülmektedir (Şekil 4).

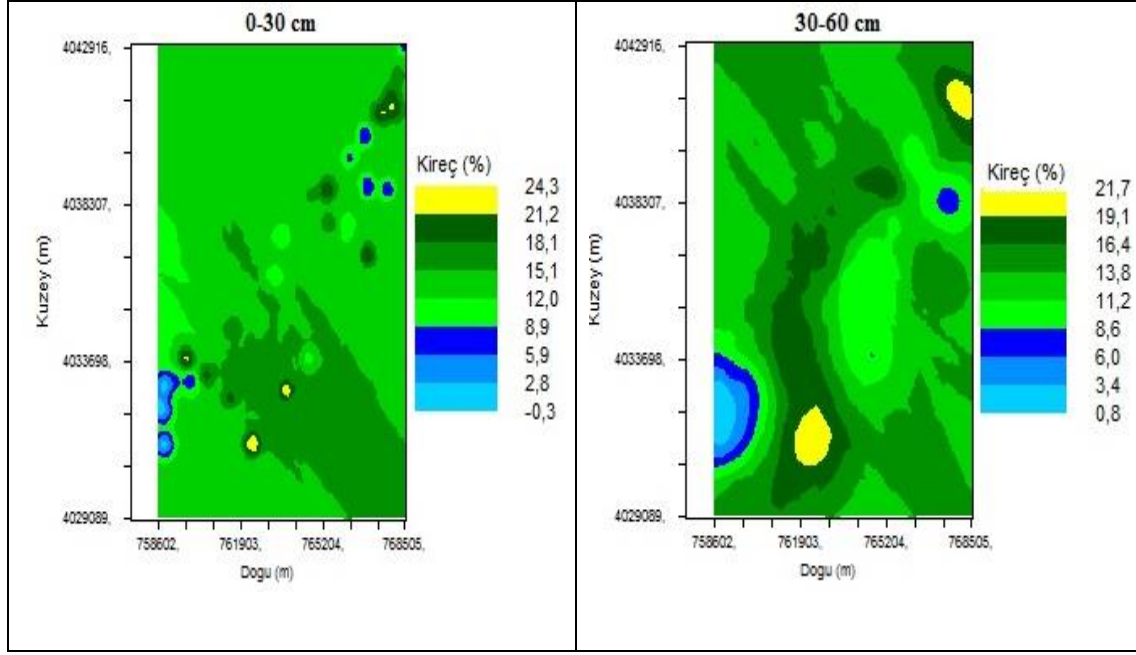


Şekil 4. Toprakların Na içeriklerinin yersel dağılım haritası

Kireç

İnceleme alanında en çok karşılaşılan kireç değerleri, yüzey toprağında %12,0-15,1, yüzey altı toprak katmanında ise %11,2-13,8 arasında, en az karşılaşılan kireç değerleri ise yüzey katmanı için %21,2-24,3, yüzey altı katmanı için ise %19,1-21,7 arasında yer almıştır. Toprakların Na değerlerine ait

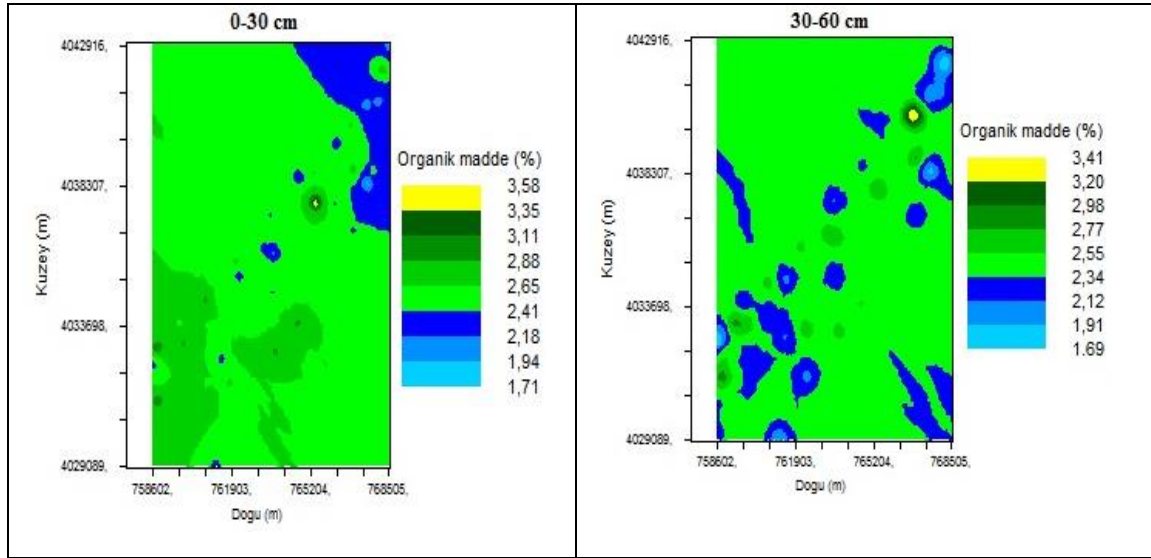
alansal dağılım paterni incelendiğinde, kirecin en yüksek değerleri; her iki katmanda da alanın kuzey doğu ve güney batısındaki yerel alanlarda olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Toprakların kireç içeriklerinin yersel dağılım haritası

Organik madde

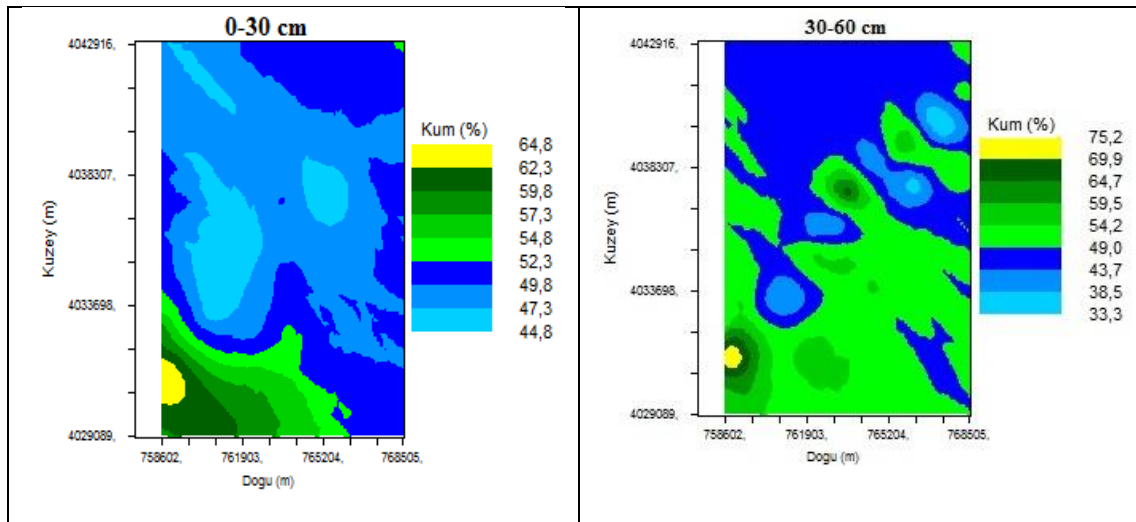
Çalışma alanındaki yüzey katmanının organik madde içeriklerinin yersel dağılımı arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır ($r^2=0$). İnceleme alanında en çok karşılaşılan organik madde değerleri yüzey toprağında %2,41-2,65, yüzey altı toprak katmanında ise %2,34-2,55 arasında, en az karşılaşılan organik madde değerleri ise yüzey katmanı için %3,55-3,58, yüzey altı katmanı için ise %3,20-3,41 arasında yer almıştır. Toprakların organik madde içeriklerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, organik maddenin en yüksek değerleri; her iki katmanda da alanın kuzey doğusundaki lokal bir alanda olduğu görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Toprakların organik madde içeriklerinin yersel dağılım haritası

Kum

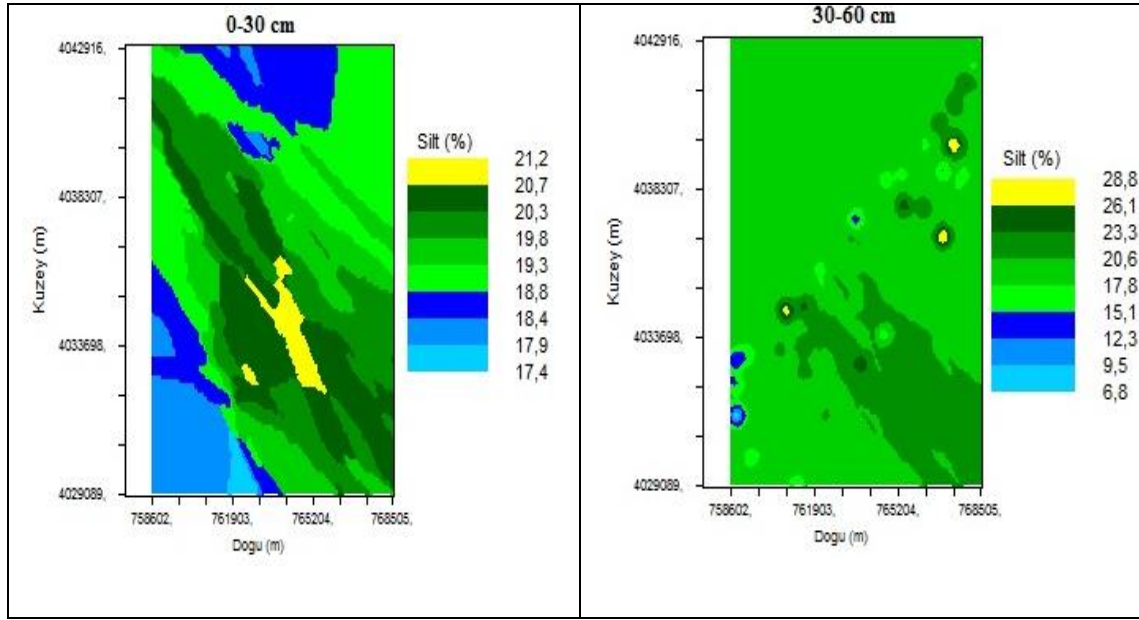
Araştırma alanına ait her iki katmandaki kum içerikleri için de blok kriging uygulanarak değişim paterni haritası oluşturulmuştur (Şekil 7). İnceleme alanında en çok karşılaşılan kum içerikleri yüzey toprağında %47,3-49,8 yüzey altı toprak katmanında ise %49,0-54,2 arasında, en az karşılaşılan kum içerikleri ise yüzey katmanı için %62,3-64,8, yüzey altı katmanı için ise %69,9-75,2 arasında yer almıştır. Toprakların kum değerlerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, kumun en yüksek değerleri; her iki katmanda da alanın güney batısındaki yerel alanlarda olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Toprakların kum içeriklerinin yersel dağılım haritası

Silt

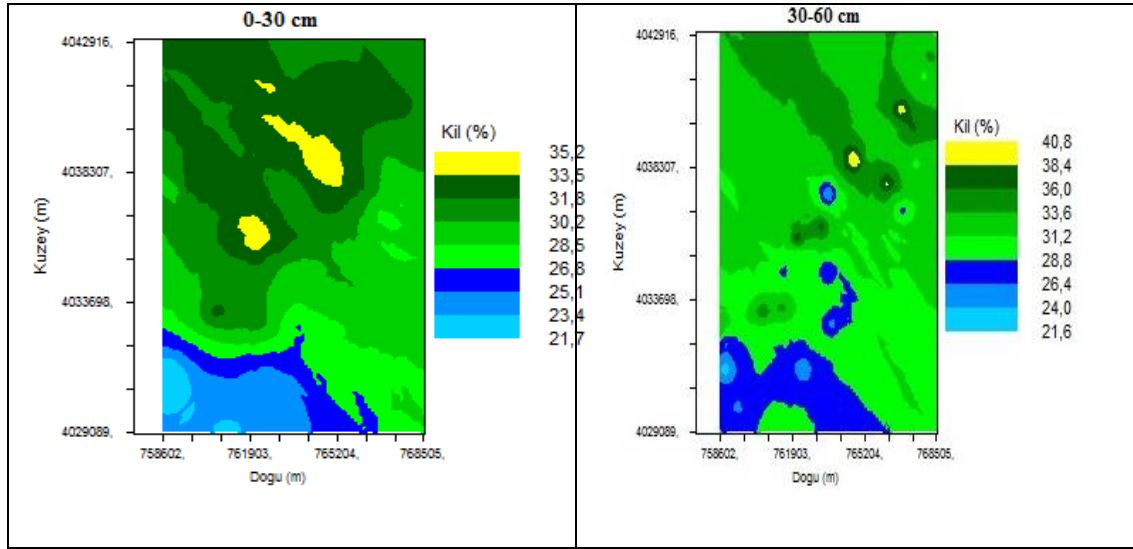
İnceleme alanında en çok karşılaşılan silt içerikleri yüzey toprağında %18,8-19,3, yüzey altı toprak katmanında ise %17,8-20,6 arasında, en az karşılaşılan silt içerikleri ise yüzey katmanı için %20,7-21,2, yüzey altı katmanı için ise %26,1-28,8 arasında yer almıştır. Toprakların silt içeriklerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, siltin en yüksek değerleri; 0-30 cm katmanında alanın orta kısmında, 30-60 cm katmanında ise alanın birkaç yerinde yerel olarak dağıldığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Toprakların silt içeriklerinin yersel dağılım haritası

Kil

İnceleme alanında en çok karşılaşılan kil içerikleri yüzey toprağında %31,8-33,5, yüzey altı toprak katmanında ise %31,2-33,6 arasında, en az karşılaşılan kil içerikleri ise yüzey katmanı için %33,5-38,2, yüzey altı katmanı için ise %34,8-40,8 arasında yer almıştır. Toprakların kil değerlerine ait alansal dağılım paterni incelendiğinde, kilin en yüksek değerleri; 0-30 cm katmanında alanın orta kısmında, 30-60 cm katmanında ise alanın kuzey doğusunda yerel olarak dağıldığı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Toprakların kil içeriklerinin yersel dağılım haritası

4. Sonuç ve Öneriler

Toprakların pH değerleri 7,78-9,30 arasında değişmekte olup, kuvvetli bazik ve alkali karakterlidir. Çalışma alanı topraklarında pH değerinin ve kireç içeriğinin yüksek olması, bu topraklarda çoğu besin elementinin toprak çözeltilisindeki konsantrasyonunun düşük olmasına ve ovada yetiştirilen bitkilerin yeterince besin elementi alamamasına neden olacaktır. Bu nedenle çalışma alanında organik gübre uygulamaları ve asit içerikli kimyasal gübre uygulamaları gibi pH'ı düşürücü uygulamalar yapılmalıdır. Ayrıca, toprak pH'ının düşürülmesinde elementel kükürt, sülfürik asit, Al sülfat, Fe ve Al fosfatlar da kullanılmaktadır. Ancak, Bu materyaller içerisinde temini ve uygulanması kolay olan elementel kükürt çok yaygın olarak kullanılır. Elementel kükürdün ucuz olması da ayrı bir avantajdır.

Topraklarda EC değerleri 0,14-1,56 dS m⁻¹ arasında değişmekte olup, toprakların tamamı tuzsuzdur. Kireç içerikleri % 0,00-25,54 arasında değişmekte olup, kireç sınıfları kireçsizden, çok kireçliye kadar değişmektedir. Ancak, büyük bir çoğunluğunun (%90) kireç içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Organik madde içerikleri ise %1,24-3,97 arasında değişmekte olup, orta ve düşük sınıfta yer almaktadır. Ancak arazilerin büyük bir kısmında organik maddenin az olduğu belirlenmiştir. Organik maddenin en yüksek değerleri; her iki katmanda da alanın kuzey doğusundaki yerel bir alanda olduğu görülmektedir. Bu nedenle topraklarda organik madde içeriklerini artırmak için, çalışma alanındaki hemen hemen tüm arazilere çiftlik gübresi uygulanmalıdır. Çünkü çiftlik gübresi (organik gübre) sadece torağa besin elementi vermekle kalmaz, aynı zamanda toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini de iyileştirmektedir.

Toprakların bünyeleri incelendiğinde, kumlu killi tın ve kil arasında değiştiği görülmektedir. Ancak toprakların büyük çoğunluğunun bünyesinin tın olduğu belirlenmiştir. Bu durum da toprakların havalanma, su tutma ve su geçirme kapasiteleri yönünden olumludur. Diğer bir deyişle, toprakların havalanma ve su tutma kapasiteleri iyi durumdadır. Toprakların incelen özellikleri arasında, yüksek pH dışında herhangi bir sorun görülmemiştir.

En uygun yarıvaryogram modeli kum içeriği için her iki katmanda da exponential (üssel) olarak belirlenmiştir. Diğer toprak özellikleri en uygun yarıvaryogram modelinin ise spherical (küresel) ve gaussian olduğu görülmüştür. Noktaların birbirleri ile ilişkili olduğu maksimum uzaklıklar (etki aralığı) ise 850 m ile 7776 m geniş sınırlar arasında değişmiştir. Etki aralığı, incelenen toprak özelliğinin belirlenen değerlerinin yersel olarak bağımlı olabileceği maksimum uzaklığı belirtmektedir. Diğer bir deyişle, bu noktadan sonra incelenen toprak özelliği uzaysal bağımlılık göstermemekte veya rastgele bir dağılım göstermektedir. Bu sonuçlar, çalışma alanında bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bazı toprak özellikleri için örnekleme aralıklarının biraz daha dar olması gerektiğini göstermektedir. Toprak özelliklerinin yersel bağımlılıkları ise, biri hariç orta ve kuvvetli düzeyde belirlenmiştir.

Üretilen haritaların ise, çiftçilerin topraklarını daha iyi değerlendirmelerine, böylece daha kolay ve verimli yönetim kararları almalarına ve sürdürülebilir tarımsal üretim yapmalarına olanak tanımaktadır. Haritalara dayalı olarak, ovada gelecekteki araştırma stratejisi oluşturulabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından finansal olarak desteklenmiştir (Proje Numarası: 18.YL.001)

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

AbdelRahman MAE., Zakarya YM., Metwaly MM., Koubouris G. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. Sustainability 2021; 13: 194.

Abdenmour MA., Douaoui A., Barrena J., Pulido M., Bradai A., Bennacer A., Piccini C., Alfonso-Torren A. Geochemical characterization of the salinity of irrigated soils in arid regions (Biskra, SE Algeria). Acta Geochim 2020; 40: 234-250.

Alpaslan M, Güneş A, İnal A. Deneme tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 2005; No: 1501.

Allison LE., Moode CD. Carbonate. (Eds C.A. Black) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy series. Wisconsin. No. 9, ASA.1965; 1379-1396,

Anonim. Rakamlarla Hatay tarım kimliği. Hatay Valiliği İl Gıda Tarım Ve Hayvancılık Müdürlüğü 2016.

- Anonim. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Arsuz İlçe Müdürlüğü verileri 2017.
- Anonim. Hatay ili iklim verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=> (Erişim tarihi: 29.01.2019).
- Bogunovic I., Trevisani S., Seput M., Juzbasic D., Durdevic B. Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena* 2017; 154: 50–62.
- Bogunovic I., Filipovic L., Filipovic V., Pereira P. Spatial mapping of soil chemical properties using multivariate geostatistics. A study from cropland in eastern Croatia. *Journal of Central European Agriculture* 2021; 22(1): 201-210.
- Bouyoucos GJ. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 1951; 43: 434-438.
- Bresler E., McNeal BLM., Carter DL. Saline and sodic soils. *Principles-Dynamics-Modelling*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982; 236.
- Cambardella CA., Moorman TB., Parkin TB., Karlen DL., Novak JM., Turco RF. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 1994; 58: 1501-1511.
- Çetinkaya S., Özşahin E. Arsuz Ovasında (İskenderun/Hatay) arazi örtüsü ve kullanım özelliklerinin değişimi. III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu 2013; 654-664.
- Demirbilek S. Arsuz (Hatay) kıyı ovasında bulunan bozuk drenaj sahalarının tespiti ve çözüm önerileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2019; 16(44): 120-140.
- Gamma Design. *Geostatistics for the Environmental Sciences* 2008; Plainwell, Michigan USA.
- Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 1999; 89: 1-45.
- Isaaks HE., Srivastava RM. *Applied geostatistics*. Oxford University press 1989.
- John K., Afu MS., Isong IA., Aki EE., Kebonye NM., Ayito EO., Chapman PO., Eyong MO., Penížek V. Mapping soil properties with soil-environmental covariates using geostatistics and multivariate statistics. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2021; <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03089-x>. (Published online 04 January 2021).
- Karataş A., Korkmaz H. Hatay ili'nin su potansiyeli ve sürdürülebilir yönetimi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları* 2012; No: 40, Hatay.
- Khadka D., Lamichhane S., Giri RK., Chalise B., Amgain R., Joshi S. Geostatistical based soil fertility mapping of Horticultural Research Station, Rajikot, Jumla, Nepal. *Journal of Agriculture and Natural Resources* 2020; 3(2): 257-275.
- Knudsen D., Peterson GA., Pratt PF. Lithium, sodium and potassium. (Eds A.L. Page). *Methods of soil analysis. Parts 2. Chemical and microbiological properties. Second edition*. ASA, Inc., Wisconsin 1982; 9: 225-246
- Li C., Wang X., Qin M. Spatial variability of soil nutrients in seasonal rivers: A case study from the Guo River Basin, China. *PLoS ONE* 2021; 16(3): e0248655.

- Liu D., Wang Z., Zhang B., Song K., Li X., Li J., Li F., Duan H. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2006; 113: 73-81.
- Mulla DJ., McBratney AB. Soil spatial variability. (Eds ME Summer) *Handbook of soil science*. CRS Pres, Florida 2000.
- Özdemir Ş., Günal H., Acir N., Arslan H., Özaydın K., Kahyaoğlu SE., Ağar AM. Çerikli sulama sahasında toprak tuzluluğunun tahmininde deterministik ve stokastik enterpolasyon yöntemlerinin kullanımı. *Topraksu Dergisi* 2019; 8(1): 55-67.
- Richards LA. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *US Dep. Agri. Handbook*. 1954; 60: 147.
- Schlichting M., Blume E. *Bodenkundliches Prakticum* 1966; Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin.
- Turgut B., Öztaş T. Penetrasyon direncini etkileyen bazı toprak özelliklerinin yersel değişiminin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 2012; 18: 115-125.

Ramor 550 Çeliğinin Elektro Erozyon İşleme Metodu ile İşlenmesinde Proses Parametrelerinin Delik Çapına Etkisi

Engin NAS^{1*}

¹Düzce Üniversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 81000, Cumayeri/Düzce

¹<https://orcid.org/0000-0002-4828-9240>

*Sorumlu yazar: enginnas@duzce.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.02.2022

Kabul tarihi:01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Elektro erozyon işleme

Yüzey yanıt yöntemi

Yüzey pürüzlülüğü

Delik çapı

Zırh çeliği

ÖZ

Bu çalışmada, Ramor 550 zırh çeliğinin silindirik bakır elektrot kullanılarak elektro erozyon işleme (EEİ) ile talaş kaldırılması sonrasında işleme parametrelerinin malzeme yüzeyinde oluşan delik çapına etkisi araştırılmıştır. İşleme parametreleri olarak vurum süresi, bekleme süresi, akım şiddeti ve sabit talaş derinliği seçilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak analizini gerçekleştirmek için deney tasarımı Merkezi Kompozit Deney tasarımı ile 18 deney olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, elektrot çapına en yakın delik çapının 3 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde, en büyük delik çapının ise 9 amper ve 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde gerçekleştiği belirlenmiştir. İstatistiksel olarak Anova sonuçları incelendiğinde ise delik çapı için geliştirilen ikinci dereceden tahminsel denklemlerde; Linear modelde akım şiddetinin ($0,00004 < 0,05$), vurum süresine ait etkinin ($0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu belirlenmiş, delik çapı için hata payı %9,13 olarak hesaplanmıştır.

The Effect of Process Parameters on Hole Diameter in Electro Erosion Machining of Ramor 550 Steel

Research Article

Article History:

Received: 16.02.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Electro discharge machining response

Surface methodology surface roughness

Hole diameters

Armour

ABSTRACT

In this study, the effect of machining parameters on the hole diameter formed on the material surface after chip removal by EDM process using cylindrical copper electrode of Ramor 550 armor steel was investigated. Five levels for discharge current, five levels for pulse offtime and five levels for pulse ontime duration were used as machining parameters. In order to perform the statistical analysis of the results, the experimental design was designed as 18 experiments with the Central Composite Experiment design. It was determined that the hole diameter closest to the electrode diameter occurred at 3 amps, 225 µs pulse time duration and 23 µs pulse offtime duration, while the largest hole diameter was occurred at 9 amps, 225 µs pulse time duration and 23 µs pulse offtime duration. When the Anova results are analyzed statistically, in the quadratic estimation equations developed for the hole diameter; In the linear model, it was determined that the discharge current amount ($0.00004 < 0.05$) and the effect of the pulse duration ($0.0003122 < 0.05$) were significant, and the margin of error for the hole diameter was calculated as 9.13%.

To Cite: Nas E. Ramor 550 Çeliğinin Elektro Erozyon İşleme Metodu ile İşlenmesinde Proses Parametrelerinin Delik Çapına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 1514-1526.

1. Giriş

Zırh çelikleri, farklı özellik gösteren mermilerin çoklu darbesine karşı göstermiş olduğu dirençten dolayı (çatlama, parçacık kopması ve kırılma direnci gösterme) ülkelerin savunmasında kullanılan zırhlı araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, çelik ne kadar sert olursa balistik performans o kadar iyidir. Bu nedenle tipik olarak penetrasyon direnci ve ağırlık azalmasının kilit önem taşıdığı durumlarda yüksek sertlikte çelikler, askeri uygulamalarda şok direncinin önemli olduğu yerlerde ise düşük sertlikte çelikler kullanılmaktadır. Zırh çelikleri, içerisinde bulundurduğu karbon oranının düşük olmasından dolayı düşük karbonlu alaşımlı çelik sınıfına girmektedir. İçerisinde barındırdığı alaşım elementleri krom, nikel, molibden ve mangandır (Ade, 1991; Soykan, 2013; Magudeeswaran ve ark., 2018). Kimyasal bileşimi esas alınarak döküm yöntemiyle ingotlar haline getirilip, sonrasında haddeleme şekli olarak sıcak şekilde haddeleme işlemi gerçekleştirilerek istenilen ebat ve kalınlıkta plaka halinde üretilmektedir (Karagöz ve ark., 2008). Üretim sonrasında savunmada kullanılacak zırh çeliklerinin istenilen mukavemet, sertlik ve tokluk değerlerine ulaştırılması için östenitleştirme, su verme ve temperleme işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Manganello ve Wilson, 1993; Sedat ve Korkut, 2012). Kullanıldığı alan itibari ile zırh çeliğinde istenilen özelliklerden en önemli olanı delici ve patlayıcı unsurlara karşı dirençli olmasıdır. Zırh çeliklerinin bu unsurlara karşı dirençli olabilmesi için mukavemet ve sertlik değerinin yüksek olması istenmektedir (Zengin, 2010; Taşkaya, ve ark., 2018). Zırh çeliklerinin talaşlı imalat sektöründe işlenebilirliğinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan kesici takımların aşınması ve işleme esnasında kesici uçların kırılması işleme maliyetini arttırmakta ve işletmeye maddi olarak büyük bir yük getirmektedir. Savunma sanayi alanında kullanılan malzemelerin işleme maliyetini düşürmek için işletmeler geleneksel imalat yöntemlerinin aksine elektro erozyon işleme, tel erozyon işleme ve su jeti kesme yöntemi gibi ileri imalat yöntemlerini tercih etmektedirler.

Elektro erozyon işleme (EEİ) yöntemi otomobil, havacılık ve savunma endüstrisinde kullanılan önemli bir işleme prosesidir. EEİ yöntemi, mekanik yöntemler ile malzeme kaldırma işleminin aksine enerji olarak elektrik enerjisi kullanılarak malzeme üzerinden talaş kaldırılma işlemini ısı enerjisiyle gerçekleştirdiğinden dolayı termal işleme yöntemleri kategorisine girmektedir (Avlar, 2006). Bu yöntemde, işleme sırasında iş parçası ve takım birbiriyle temas etmez. EEİ karmaşık, hassas ve düzensiz şekilleri kolaylıkla işleyebilir (Singh ve ark., 2018). EEİ tekniği kullanılarak gerçekleştirilen zırh çeliği ile yapılan çalışmalar kısıtlı olup literatür araştırması yapıldığında ise daha çok kaynaklı birleştirmeler üzerine deneysel ve istatistiksel çalışmalar gerçekleştirildiği görülmektedir. Zırh çeliği ile ilgili çalışmaların özetleri verilmektedir. Kaçar ve Emre (2018), yaptıkları çalışmada aynı tür zırh çelik çifti (Armox 500T–Armox 500T) ve farklı tür çelik çiftini (Armox 500T-AISI 304) gaz metal ark kaynak kabiliyetlerini incelemiştir. Zengin (2010), yaptığı deneysel çalışmada, Armour 500 zırh çeliğini ark kaynak metodu kullanarak dört farklı ön tav sıcaklığında kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirerek birleştirilen bölgenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sarsılmaz ve ark., (2017) Armour 500 çeliği ve dubleks (ferritik / östenitik) çelik AISI 2205'in farklı kaynak

parametrelerindeki kaynak özellikleri karşılaştırmışlardır. Chandel ve ark., (1997) tozaltı kaynak yöntemini kullanarak, elektrot çapı akım şiddeti, elektrot polarizasyonu ve elektrot uzantısı parametrelerini kullanarak dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve kaynağın malzemeye nüfuzunu teorik olarak tahmin etmesi için yazılım geliştirmişlerdir. Bekçi ve ark., (2021) Ramor 500 (Kalınlık 6.7 mm) ve 550 (Kalınlık 6,2 mm) çeliğinin balistik incelenmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullandıkları tek ve çift katmanlı plakaları (Kalınlık 6,8 mm) tel erozyon tezgahı kullanarak 55 mm X 10 mm ölçülerinde kesme işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Kurt ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada MIL A 46100 zırh çeliğini altı farklı açıda östenik paslanmaz çelik elektrot kullanarak metal inert gaz yöntemiyle kaynak işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kaynak yapılan malzemelerden çekme numuneleri hazırlanmış mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilerek en uygun kaynak açısı belirlenmiştir. Li ve ark., (1997) tarafından tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak yapılan bir alın kaynağında girdi parametreleri ile çıktı parametreleri (dikiş yüksekliği, dikiş genişliği, nüfuziyet, erime ve kep alanları ile akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı) arasındaki non-lineer ilişki yapay sinir ağları kullanarak modellenmiştir. Redd ve ark., (1998) yaptıkları çalışmada üç farklı kaynak yöntemine (TIG kaynağı, örtülü elektroark kaynağı ve özlü telle gazaltı kaynağı) bağlı olarak zırh çeliğinin kaynak bölgelerinin mermi nüfuziyetine karşı direncini ölçerek elde edilen kaynaklı birleştirmeleri kendi aralarında karşılaştırmışlardır. Gunaraj ve Murugan (1997) tozaltı ark kaynağı ile yapılan boruların kaynatılmasında dikiş geometrisini tahmin etmek için “Tepki Yüzeyi” metodunun bir uygulamasını geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada ise geleneksel imalat yöntemlerinin aksine alışılmamış üretim yöntemlerinden biri olan elektro erozyon işleme (EEİ) yöntemi ile savunma sanayisinde kullanılan Ramor 550 zırh çeliğinin farklı işleme parametrelerinde delinebilirliği hem deneysel hem de Yüzey Yanıt Metodolojisi (YYM) yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak incelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme ve Elektrot

Deney numunesi olarak 18x35x5 mm ölçülerinde zırh malzemesi ve talaş kaldırma işleminde ise 8,9 gr/cm³ yoğunluğa sahip 14 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda elektrolitik bakır elektrot kullanılmıştır. Elektrolitik malzemesinin hazırlanmasında ve her deney sonrası yüzeyinin temizlenmesinde ise Jetco Marka universal torna tezgahı kullanılmıştır. Elektrot malzemesinin hazırlanma sürecindeki fotoğraf görüntüsü Şekil 1’ de gösterilmektedir. Deney malzemesinin içerdiği elementler Tablo 1’ de verilmiştir.



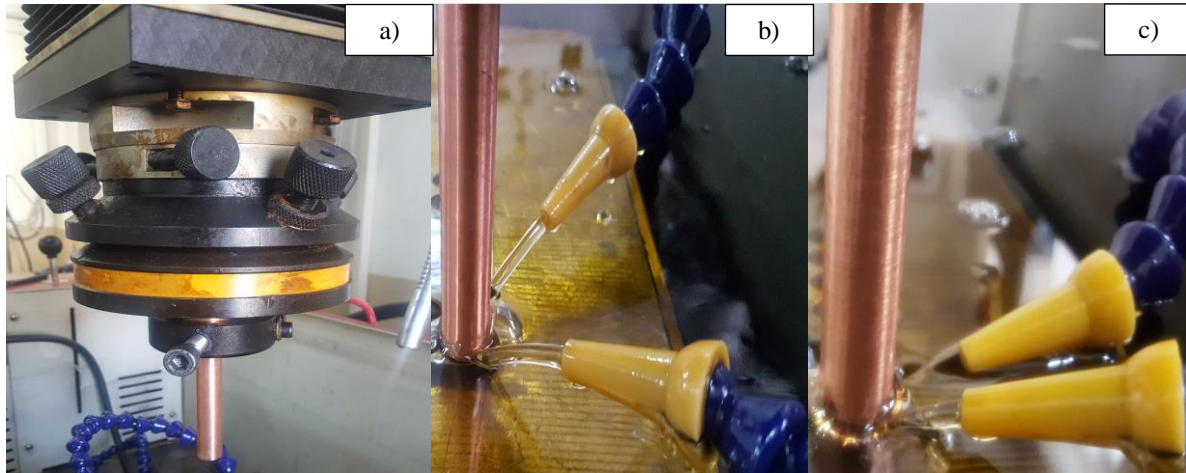
Şekil 1. Elektrolitik bakır malzemenin deneysel çalışma için hazırlanma görüntüsü

Tablo 1. SSAB Ramor® 550 Armour çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Cr	Ni	Mo	B	Fe
0,30	0,60	1,00	0,012	0,003	0,06	0,08	0,30	1,50	2,50	0,80	0,005	Remaining

2.2. Elektro Erozyon İşleme

Bu çalışmada ISO 11090-1:2014 standardına uygun King ZNC marka elektro erozyon tezgâhı kullanılmıştır. Deney öncesi ve sonrası işlem görmüş elektrot yüzeyinin temizlenmesi Jetco Marka universal torna tezgâhı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Elektrot malzemesinin hareketli kafaya bağlama ve işleme esnasındaki görüntüsü Şekil 2’ de verilmektedir.



Şekil 2. Elektrot malzemesinin bağlantı (a), bekleme süresi (b) ve vurum süresi (c) sırasındaki fotoğraf görüntüsü

2.3. Yüzey Yanıt Yöntemi ve Deney Parametreleri

İmalat sektöründe işlenmesi zor olan malzemelerin işleme maliyetlerini düşürmek ve ürün kalitesini arttırmak için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Nas ve Akıncioğlu, 2019). Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlarından biride yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM) yöntemidir. YYM, çeşitli örnek değişkenler ve bir veya daha fazla yanıt değişkeni arasındaki etkileşimi inceler (Box ve Draper, 1987; Lakshmanan ve Kumar, 2013). Dolayısıyla, bu yöntem parametrelerin cevap üzerindeki etkisini tahmin edebilir ve Taguchi tekniğine kıyasla optimizasyon için daha iyi bir araçtır (Camposeco-

Negrete, 2015). YYM'nin en önemli amacı, en uygun yanıtı elde etmek için bir dizi tasarlanmış deney kullanmaktır (Sönmez ve ark., 2016; Basmacı ve ark., 2018). Bu yöntem ile oluşturulan modellemelerde genel olarak birinci derece (linear) ve ikinci derece (kuadratik) model kullanılmaktadır. Linear modelin formülü Eş. 1’de görülmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

Linear model yapısında birbirinden etkilenen değişkenler varsa yanıt polinomu Eş. 2’de görüldüğü gibidir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2 \quad (2)$$

Model yapısı doğrusal bir polinom değilse ikinci derece model ile çözüm aranmaktadır. Bu çalışmada, malzeme üzerinde oluşan delik çapını tahmin etmek için bağımsız parametrelerin ana etkilerini, kuadratik etkilerini ve etkileşimlerinin etkisini içeren ikinci dereceden tahminsel modele ait temel formül Eş. 3’de görülmektedir (Motorcu 2013; Sönmez ve ark., 2016).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (3)$$

(3) şeklinde ifade edilir.

DeneySEL çalışmanın tasarımı Minitap 18 programı ile gerçekleştirilmiştir. Amper, Ton ve Toff parametreleri için program bizim belirlediğimiz parametreler dışında kendisi minimum ve maksimum değerleri belirleyerek Tablo 2’ de görüldüğü gibi deneylerimizin gerçekleştirilmesi için bize maksimum, minimum ve ara değerler oluşturmaktadır.

Tablo 2. Deney tasarımının hazırlanması

Faktör	Ad	Birimler	Minimum	Maksimum	Düşük Kod	Yüksek Kod	Ortalama	Standart Sapma
A	Amper	A	3	10	-1 ↔ 4	+1 ↔ 8	6	1.71
B	Ton	µs	99	351	-1 ↔ 150	+1 ↔ 300	225	67,19
C	Toff	µs	9	35	-1 ↔ 15	+1 ↔ 30	23	6,70

Tablo 2’ deki değerlere göre YYM yöntemi bizden 18 deney yapmamızı istemekte olup seçilen 18 deneyi de kendi içinde üç aşamada incelemektedir. Bunlardan ilk sekiz deney (1-8) birinci dereceden parametreleri, sonraki altı deney (9-14) ikinci dereceden parametrelerin tahmini, son dört deney ise (15-18) modelin uyum eksikliğini belirlemektedir. Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri

Sıra No	Amper (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Sıra No	Amper (A)	Ton (μ s)	Toff (μ s)
1	4	150	15	10	9	225	23
2	8	150	15	11	6	99	23
3	4	300	15	12	6	351	23
4	8	300	15	13	6	225	10
5	4	150	30	14	6	225	35
6	8	150	30	15	6	225	23
7	4	300	30	16	6	225	23
8	8	300	30	17	6	225	23
9	3	225	23	18	6	225	23

3. Bulgular ve Tartışma

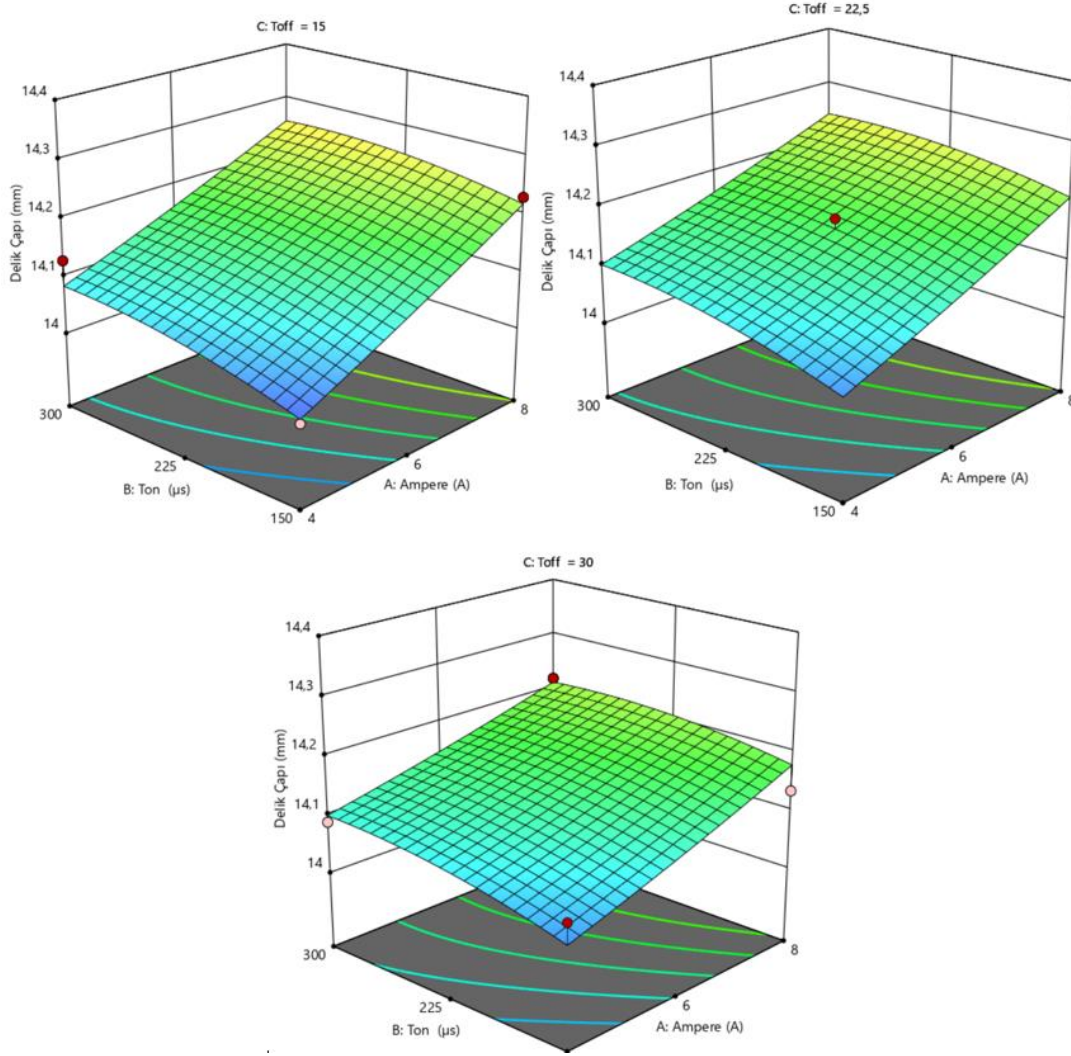
Literatür araştırması sonrasında oluşturulan deney parametreleri ile Ramour 550 zırh çeliğinin delik delme işlemi EDM tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında oluşan delik çapları ölçümleri Dino-light marka optik mikroskop ile ölçülmüştür. Elde edilen deneysel ve istatistiksel sonuçlar Tablo 4'te verilmektedir. Tablo 4'te verilen deneysel sonuçlar Minitab 18.0 programı ile istatistiksel analizleri gerçekleştirilerek tahmini delik çapları da hesaplanmıştır.

Tablo 4. Deneysel çalışma sonuçları ve istatistiksel analiz sonrası elde edilen (gerçek- tahmini) delik çapı değerleri

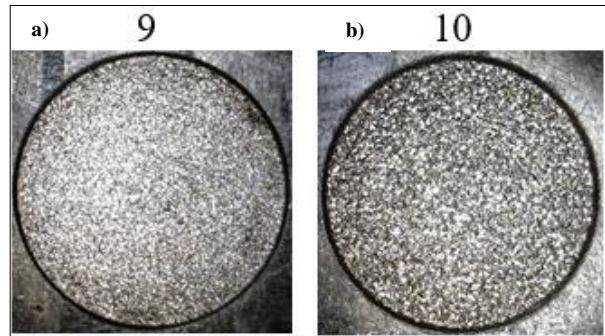
Deney No	Amper	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Delik Çapı (mm)	Tahmini	Deney No	Amper	Ton (μ s)	Toff (μ s)	Delik Çapı (mm)	Tahmini
					Delik Çapı (mm)						Delik Çapı (mm)
1	4	150	15	14,008	14,015	10	9	225	23	14,338	14,301
2	8	150	15	14,230	14,218	11	6	99	23	14,078	14,074
3	4	300	15	14,128	14,083	12	6	351	23	14,156	14,159
4	8	300	15	14,222	14,257	13	6	225	10	14,132	14,139
5	4	150	30	14,074	14,038	14	6	225	35	14,128	14,120
6	8	150	30	14,134	14,178	15	6	225	23	14,156	14,158
7	4	300	30	14,088	14,099	16	6	225	23	14,176	14,158
8	8	300	30	14,218	14,210	17	6	225	23	14,152	14,158
9	3	225	23	14,002	14,038	18	6	225	23	14,150	14,158

Tablo 4 incelendiğinde elektrot çapına en yakın delik çapının 3 amper, 225 μ s vurum süresi ve 23 μ s bekleme süresinde 14,002 mm çapında, en büyük delik çapının ise 9 amper, 225 μ s vurum süresi ve 23 μ s bekleme süresinde 14,338 mm çapında olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile amper miktarının ve vurum süresinin artması ile delik çapının arttığı tespit edilmiştir (Kalyon 2020; Nas 2020). İşleme parametrelerinin delik çaplarındaki değişimlerinin grafiksel olarak incelenmesi için

Desing Expert 11 paket programı ile grafikler oluşturularak Şekil 3’ de gösterilmiştir. Şekil 2’ deki grafikler incelendiğinde bütün bekleme sürelerinde vurum süresinin ve amper miktarının artması ile delik çapında artış olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir (Kalyon 2020). Deneysel çalışma sonrasında oluşan delik çaplarının optik mikroskop ile 20X yaklaşıma görüntüleri Şekil 4’ te gösterilmektedir.

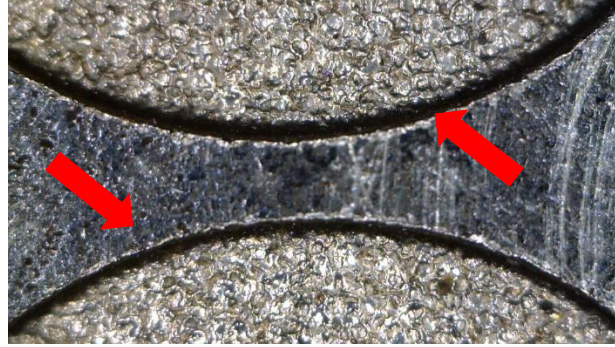


Şekil 3. Yüzey yanıt yöntemine göre sabit bekleme sürelerinde vurum süresi ve amper değerlerine göre delik çapı grafikleri



Şekil 4. Deneysel çalışmadan elde edilen en küçük ve en büyük delik çaplarının optik mikroskop görüntüleri, a) Dency 9, b) Dency 10)

Amper miktarının artması ile elektrot malzemesinin delik yüzeyinde ilk oluşan arklar ile beraber oluşan delik giriş yüzeyinde ergiyen malzemelerin çapak oluşturduğu (Şekil 5) görülmüştür.



Şekil 5. Delik yüzeyindeki çapak oluşumu görüntüsü

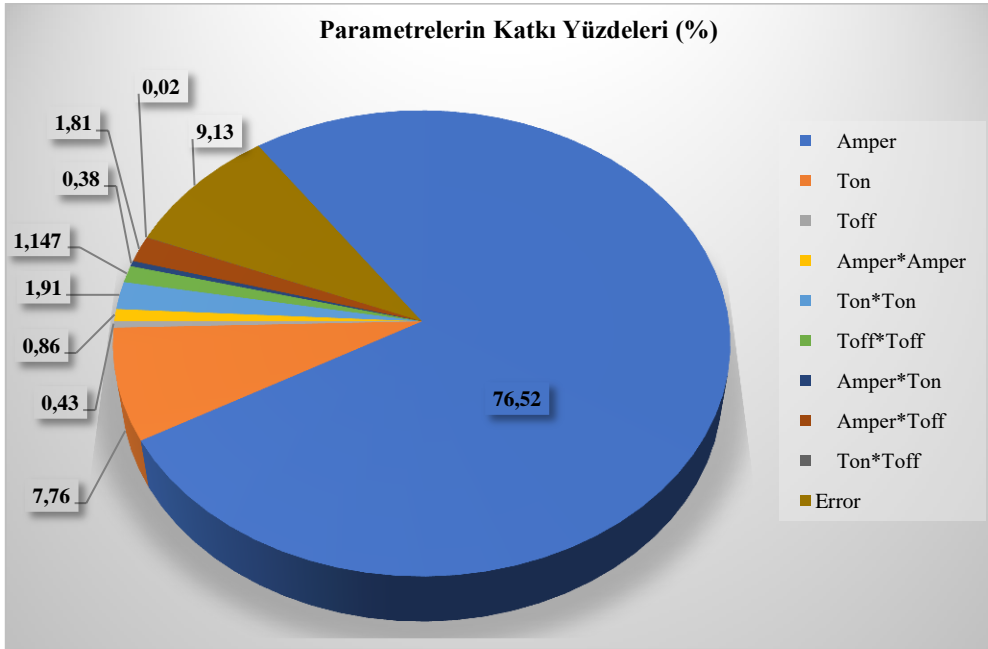
3.1. ANOVA

Anova istatistiksel model içerisindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Uğur ve ark., 2020). Deneysel çalışma ile elde edilen sonuçların anova analiz sonuçları Tablo 5’ de gösterilmektedir. Prob> F değeri 0.05'ten düşük olduğunda model istatistiksel olarak anlam olup parametrenin yanıt üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu gösterir (Ekici ve ark., 2014).

Tablo 5. Delik çapı için varyans analizleri

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,099762	0,099762	0,011085	8,85	0,00268
Linear	3	0,093004	0,093004	0,031001	24,74	0,00021
Amper	1	0,084003	0,084003	0,084003	67,05	0,00004
Ton	1	0,008523	0,008523	0,008523	6,80	0,03122
Toff	1	0,000477	0,000477	0,000477	0,38	0,55430
Square	3	0,004329	0,004329	0,001443	1,15	0,38593
Amper*Amper	1	0,000949	0,000208	0,000208	0,17	0,69463
Ton*Ton	1	0,002092	0,002729	0,002729	2,18	0,17826
Toff*Toff	1	0,001288	0,001288	0,001288	1,03	0,34031
2-Way Interaction	3	0,002430	0,002430	0,000810	0,65	0,60680
Amper*Ton	1	0,000421	0,000421	0,000421	0,34	0,57831
Amper*Toff	1	0,001984	0,001984	0,001984	1,58	0,24368
Ton*Toff	1	0,000025	0,000025	0,000025	0,02	0,89225
Error	8	0,010023	0,010023	0,001253		
Lack-of-Fit	5	0,009596	0,009596	0,001919	13,48	0,02872
Pure Error	3	0,000427	0,000427	0,000142		
Total	17	0,109785				

Tablo 5’deki varyans analizi sonuçlarına göre Linear modelde Amper miktarının ($A = 0,00004 < 0,05$), vuruş süresine ait etkinin ($Ton = 0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu görülmektedir. Elde edilen varyans analizlerinden işleme parametrelerinin katkı oranları hesaplanmış ve Şekil 6’de gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde delik çapı için hata payı % 9,13 olarak hesaplanmıştır. Hill ve Trucano (1999)’a göre, model parametrelerinde öngörülen belirsizlik için %10 sapma altındaki deneysel hata kabul edilebilirdir. Bu çalışmada delik çapı %10 sınırından düşük değerde olduğu görülmekte olup hesaplanan ikinci derece denklemin doğruluğu kabul edilebilir seviyededir. Elde edilen işleme parametreleri katkı oranları incelendiğinde (Şekil 6) delik çapına en fazla etki eden parametrenin %76,52 oran ile amper, en düşük etkinin ise %0,02 oran ile Ton*Toff etkileşimi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. İşleme parametreleri ve etkileşimlerinin % katkı oranları

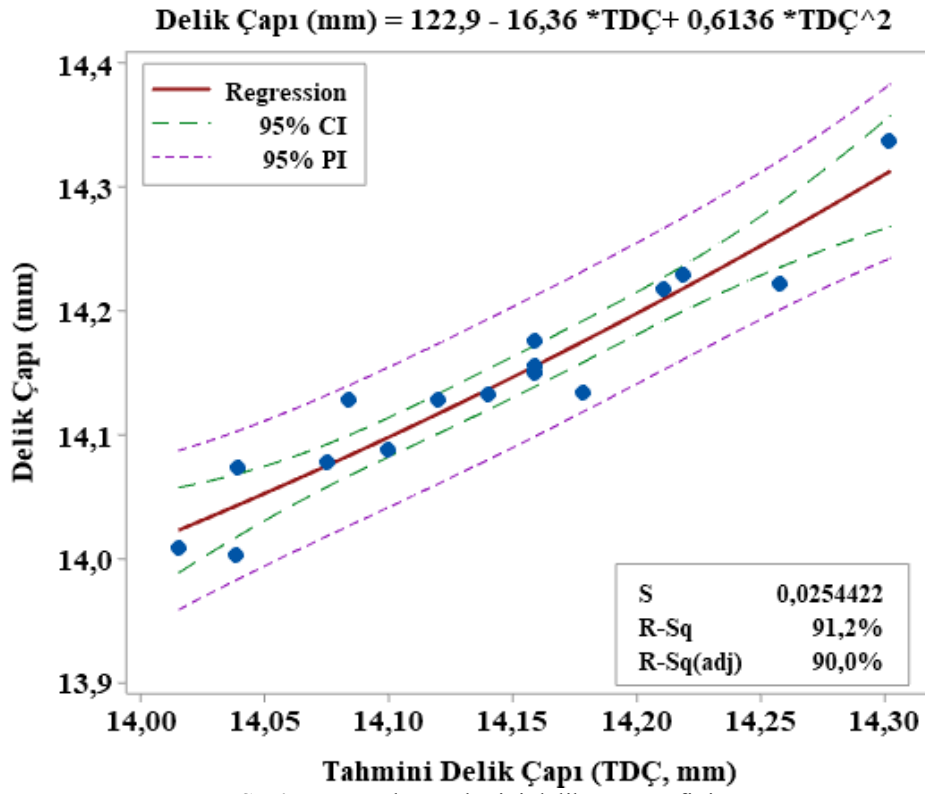
Elde edilen ikinci dereceden tahminsel denklemlerin korelasyon katsayıları anlamlılık düzeyinde delik çapı için %90,87 olarak elde edilmiştir. Elde edilen ikinci derece denklemler Tablo 6’de gösterilmektedir. Yapılan analiz ile oluşturulan ikinci derece tahminsel denklemin korelasyon katsayısının büyük çıkması bu denklemin geçerliliğini yansıtmaktadır (Motorcu 2013; Çiçek ve ark., 2015; Işık ve ark.,2020).

Tablo 6. İstatiksel analiz sonrasında elde edilen ikinci derece denklem

Delik Çapı (mm)	$13,457 + 0,0616 A + 0,00187 Ton + 0,0143 Toff + 0,00101 A^2 - 0,000003 Ton^2 - 0,000179 Toff^2 - 0,000048 Amper*Ton - 0,001050 Amper*Toff - 0,000003 Ton*Toff$
-----------------	---

3.2. Delik Çapının Optimum Tahmini

Deneysel sonuçlar ile tahmini sonuçların güven aralığı (CI-Confidence Interval) dahilinde olup olmadığını belirlemek için ikinci dereceden regresyon analizi uygulandı. Analizler, tahmini değerler ile deney sonuçları arasındaki ilişkiyi belirlemek için RSM kullanılarak gerçekleştirildi. Deneylerden elde edilen delik çapı ve tahmini delik çapı değerleri grafik olarak Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7. Gerçek ve tahmini delik çapı grafiği

Şekil 7' deki çizgiler incelendiğinde CI yazan çizgilerin güven düzeyi aralığı, PI yazan çizgiler ise tahmini güven aralığıdır (Kara 2017; Nas ve Öztürk 2018; Nas ve Akıncıoğlu 2019). Mavi nokta ile gösterilenler ise gerçekleştirilen deney sonuçlarımızdır. Deney sonuçlarımız merkezde bulunan çizgiye yakın noktalarda toplanmakta olup elde edilen ikinci derece denklem sonraki deneylerde zaman kaybı olmaksızın deney sonuçlarını hızlı bir şekilde çözmeyi sağlayacaktır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, regresyon analizinde tahmini değerlerin çoğunun CI sınırında (%95) olduğu belirlendi.

4.Sonuçlar

Bu çalışmada, Ramor 550 zırh çeliğinin silindirik bakır elektrot kullanılarak farklı işleme parametrelerinde elektro erozyon işleme yöntemi ile işleme sonrasında malzeme yüzeyinde oluşan delik çapına etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Elektrot çapına en yakın delik çapınının 3 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde,
- En büyük delik çapının ise 9 amper, 225 µs vurum süresi ve 23 µs bekleme süresinde gerçekleştiği,
- Amper miktarının artması ile elektrot malzemesinin delik yüzeyinde ilk oluşan arklar ile beraber oluşan delik giriş yüzeyinde ergiyen malzemelerin çapak oluşturduğu,
- İstatiksel olarak Anova sonuçları incelendiğinde ise delik çapı için geliştirilen tahminsel denklemlerde; linear modelde Amper miktarının ($A = 0,00004 < 0,05$), vurum süresine ait etkinin ($Ton = 0,0003122 < 0,05$) anlamlı olduğu,
- Delik çapı için hata payı %9,13 olarak hesaplandığı,

- Elde edilen işleme parametreleri katkı oranları incelendiğinde (Şekil 5) delik çapına en fazla etki eden parametrenin %77 oran ile Amper, en düşük etkinin ise %0,02 oran ile Ton*Toff etkileşimi olduğu,
- Optimum delik çapının tahmininde elde edilen tahmini değerlerin çoğunun CI (Güven aralığı) sınırında olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ade F. Ballistic qualification of armor steel weldments. *Welding Journal* 1991;70(9): 53-58.
- Avlar E. Experimental investigation on technological feasibility study of spherical tool electrodes in edm rough machining: Machining of rectangular pockets. Konya: Selçuk University 2006.
- Basmacı G., Kırbas İ., Ay M., Peker M., Karma Taguchi ve yüzey yanıt yöntemi kullanılarak astm b574 (hastelloy c-22)'in tornalanması esnasındaki işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 761-771.
- Bekci ML., Canpolat BH., Usta E., Güler MS., Cora ÖN. Ballistic performances of ramor 500 and ramor 550 armor steels at mono and bilayered plate configurations. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2021; 24(4): 990-995.
- Box GE., Draper NR. *Empirical model-building and response surfaces*: John Wiley & Sons; 1987.
- Camposeco-Negrete C. Optimization of cutting parameters using response surface method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum. *Journal of Cleaner Production* 2015; 91: 109-117.
- Chandel R., Seow H., Cheong F. Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds. *Journal of Materials Processing Technology* 1997; 72(1): 124-128.
- Çiçek A., Kıvak T., Ekici E. Optimization of drilling parameters using taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2015; 26(2): 295-305.
- Ekici E., Gültekin U., Kıvak T. Evaluation of the effects of cutting parameters on the surface roughness during the turning of Hadfield steel with response surface methodology. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 2014; 19(2): 19-28.
- Gunaraj V., Murugan N. Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes. *Journal of Materials Processing Technology* 1999; 88(1-3): 266-275.

- Hills RG., Trucano TG. Statistical validation of engineering and scientific models: Background. Sandia National Laboratories SAND99-1256. 1999;36.
- Işık R., Özlü B., Demir H. St-37 Malzemesinin lazer ile kesme işleminde seçilen parametrelerin etkisinin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. Fırat University Journal of Engineering 2021; 33(1): 161-171.
- Kaçar R., Emre HE. Gaz metal ark kaynaklı zırh çeliklerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri Ve Uygulamalı Bilimler Dergisi 2018; 1(1): 15-23.
- Kalyon A. AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin elektro erozyon tekniği ile işlenebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi 2020; 3(1): 75-86.
- Kalyon A. Optimization of machining parameters in sinking electrical discharge machine of caldie plastic mold tool steel. Sādhanā 2020; 45(1): 1-13.
- Kara F. Taguchi optimization of surface roughness and flank wear during the turning of DIN 1.2344 tool steel. Materials Testing 2017; 59(10): 903-908.
- Karagöz Ş., Atapek Ş., Yılmaz A. Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. Metal Dünyası 2008;182: 102-107.
- Kurt S., Evcı C., Işık H., Işık SM. Farklı kaynak ağız açılarının 307Si elektroduyla kaynak edilmiş mil-a 46100 zırh çeliğinin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2016; 31(ÖS1): 155-162.
- Lakshmanan S., Kumar M. Optimization of EDM parameters using response surface methodology for EN31 tool steel machining. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology 2013; 2(5): 64-71.
- Li P., Fang M., Lucas J. Modelling of submerged arc weld beads using self-adaptive offset neural networks. Journal of Materials processing technology 1997;71(2): 288-298.
- Magudeeswaran G., Balasubramanian V., Reddy GM. Metallurgical characteristics of armour steel welded joints used for combat vehicle construction. Defence Technology 2018; 14(5): 590-606.
- Manganello S., Wilson A. Direct quenching and its effects on high-strength armor plate. The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)(USA) 1993: 235-241.
- Motorcu RA. Predictive model of surface roughness in turning with different cutting tools of AISI 52100. I Young statisticians Symposium, 2013, 1-8; Ankara
- Nas E. Analysis of the electrical discharge machining (EDM) performance on Ramor 550 armor steel. Materials Testing 2020; 62(5): 481-491.
- Nas E., Öztürk B. Optimization of surface roughness via the taguchi method and investigation of energy consumption when milling spheroidal graphite cast iron materials. Materials Testing 2018; 60(5): 519-525.
- Nas E., Akincioglu S. Optimization of cryogenic treated nickel-based superalloy in terms of electro erosion processing performance. Academic Platform Journal of Engineering and Science 2019; 7(1): 115-126.

- Reddy GM., Mohandas T., Papukutty K. Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments. *Journal of Materials Processing Technology* 1998; 74(1-3): 27-35.
- Sarsilmaz F., Kirik I., Batı S. Microstructure and mechanical properties of armor 500/AISI2205 steel joint by friction welding. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017; 28: 131-136.
- Sedat K., Korkut MH. Zırhlı muharebe araçlarında kullanılan zırh plakalarında kaynak sonrası ısıtılmanın birleşim mukavemetine etkisinin araştırılması. *Savunma Bilimleri Dergisi* 2012;11(2): 159-171.
- Singh N., Routara B., Das D. Study of machining characteristics of Inconel 601in EDM using RSM. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(2): 3438-3449.
- Soykan ŞH. Aslanoğlu Z., Karakaş Y. Metallurgy of armor steels. *Erdemir Semineri*, 2013.
- Sönmez F., Başak H., Baday Ş. Haddeleme işleminin yüzey yanıt yöntemi ile analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 2016; 4(4): 275-283.
- Taşkaya S., Yıldız T., Gür AK. The effect of voltage on joining of ramor 500 armor steel with submerged arc welding method. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 357-363.
- Uğur A., Nas E., Gökkaya H. Investigation of the machinability of SiC reinforced MMC materials produced by molten metal stirring and conventional casting technique in die-sinking electrical discharge machine. *International Journal of Mechanical Sciences* 2020; 186: 105875.
- Zengin E. Searching about mechanical properties of armour steels which are welded with different preheating temperature. *Ankara Gazi University*; 2010.

Farklı Seviye Yoğunluk Modelleri Kullanılarak Reaksiyon Eşik Değerinden 20 MeV'e Kadar Paladyum İzotoplarının (n,2n), (n,p) ve (n,α) Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Halide ŞAHAN¹, Muhittin ŞAHAN^{2*}, Eyyüp TEL³

^{1,2,3}Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-6223-6807>

²<https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

³<https://orcid.org/0000-0002-5422-3301>

*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.02.2022

Kabul tarihi:02.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

(n,2n), (n,p) ve (n,α) tesir kesitleri
Seviye yoğunluğu modelleri
Empire
Paladyum
EXFOR

Bu çalışmada, Paladyum izotoplarının (^{102,104,106,108,110}Pd) (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılarak reaksiyon eşik değerinden 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, dört farklı nükleer seviye yoğunluğu modeli (Genelleştirilmiş Süper Akışkan modeli, Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan modeli, Gilbert-Cameron modeli ve Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik modeli) kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, EXFOR kütüphanesinde bulunan deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden alınan ENDF/B-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmıştır. 14,5 MeV civarında deneysel ve değerlendirilmiş verilerle karşılaştırıldığında, sonuçlar genel olarak tutarlı bir uyum göstermektedir.

The (n,2n), (n,p) and (n,α) Cross Section Calculations of the Palladium Isotopes Using Different Level Density Models From the Reaction Threshold to 20 MeV

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 18.02.2022

Accepted: 02.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

(n,2n), (n,p) ve (n,α) cross-sections
Level density models
Empire
Palladium
EXFOR

In this study, reaction cross sections of Palladium isotopes (^{102,104,106,108,110}Pd) (n, 2n), (n,p) and (n,α) were calculated from reaction threshold to 20,0 MeV by using Empire-3.2.3 (Malta) statistical model code. The calculations are performed by using four different nuclear level density models (Generalized Superfluid Model, Enhanced Generalized Superfluid Model, Gilbert-Cameron Model, and Hartree-Fock-Bogoliubov Microscopic Model). The obtained results from calculations are compared with the existing experimental data taken from EXFOR library and the evaluated nuclear data library of ENDF/B-VIII.0, TENDL-2019 and JENDL-5 data taken from ENDF. Comparing with experimental and evaluated data around 14,5 MeV, results show generally consistent agreement.

To Cite: Şahan H., Şahan M., Tel E. Farklı Seviye Yoğunluk Modelleri Kullanılarak Reaksiyon Eşik Değerinden 20 MeV'e Kadar Paladyum İzotoplarının (N,2n), (N,P) ve (N,α) Tesir Kesitlerinin Hesaplanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1527-1549.

1. Giriş

Nötron aktivasyon tesir kesitleri, temel nükleer fizikte, atom çekirdeğinin yapısının ve bileşenlerinin bilinmesinde, radyasyon güvenliğinde, güvenli nükleer reaktörlerin analiz, tasarım ve bakımlarında, hızlandırıcı güdümlü sistemlerde (Accelerator Driven System, ADS), nükleer seviye yoğunluklarında, yıldızların nükleer yapılarının astrofiziksel olarak araştırılmasında, nükleer atık dönüşüm sistemi ve

pek çok mühendislik uygulamalarında, nükleer bilim ve teknoloji alanlarında oldukça önemli rol oynayan temel bilgiler sağlamaktadır. Nükleer reaktörlerin güvenli bir şekilde tasarlanması ve reaktör etrafındaki nötron akı yoğunluklarının belirlenmesi için nötron tesir kesitlerinin net olarak bilinmesi büyük önem taşımaktadır (Uwamino ve ark., 1992, 1994; Oh ve ark., 2008; Meaz ve Kim, 2011; Wang ve ark., 2016; Yiğit, 2018; Pasha ve ark., 2020).

Nötron tesir kesitlerinin hassas ölçülmesi, nükleer mühendisliğin çeşitli uygulamalarında gerekli olan sayısal nükleer verileri büyük ölçüde sağlamaktadır. Bugüne kadar, pek çok çekirdeğin reaksiyon tesir kesitleri hakkında önemli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fakat, çoğu zaman değişik çekirdekler için deneysel verilerin bulunmaması veya deneysel ölçüm zorluklarından dolayı, gerekli sayısal verilere ulaşılamamaktadır. Bu durumda, literatürde pek çok çekirdek için teorik model çalışmaları yapılmıştır. EMPIRE (Herman ve ark., 2007, 2013), TALYS (Koning ve ark., 2013), ALICE (Broeders ve ark., 2006) gibi bazı istatistiksel model kodları kullanılarak belirli enerji düzeylerinde farklı çekirdek izotoplarına ait nötron, proton vb. uyarımlı reaksiyonları gerçekleştirmek için direkt, denge ve denge öncesi nükleer reaksiyonların yapısını anlamak üzere pek çok tesir kesiti analiz hesaplamaları teorik olarak yapılmıştır (Kaplan ve ark., 2009; Kavun 2020; Özdoğan ve ark., 2019, 2020,2021; Şekerci ve ark., 2019, 2020; Tel ve ark., 2003, 2009, 2018; Yiğit ve Kara, 2017; Yiğit, 2018; Şahan ve ark., 2012, 2016, 2021).

Platin grubundan (Rutenyum, Ru-44; Rodyum, Rh-45 ve Paladyum, Pd-46) olan Paladyum elementi, doğada ender olarak bulunan ve önemli ticari öneme sahip değerli bir metaldir (Newman ve Smith, 1970; Takahashi ve ark., 2018). William Hyde Wollaston tarafından 1803 yılında keşfedilen Paladyum, parlak gümüş renkli, beyaz bir metal olup platinden yaklaşık olarak %12 daha sert ve dayanıklı bir metaldir. Dünya çapında üretilen paladyumun yaklaşık %60'ı esas olarak nikel, çinko ve bakır arıtımının bir yan ürünü olarak katalitik konvertörlerde kullanılmaktadır. Geri kalan kısmının çoğu elektronik bileşenlerde olmak üzere cerrahi aletlerde, diş hekimliğinde, hidrojen depolanmasında ve arıtılmasında, kimyasal uygulamalarda ve yeraltı suyu arıtılmasında ve çok az kısmı da mücevher yapımında kullanılmaktadır. Hidrojeni emdiğinden dolayı, paladyum soğuk füzyon deneylerinin önemli bileşenlerinden biridir. Paladyum katalizörü, uzun ömürlü radyoaktif atıkların faydalı bir elemente dönüştürülmesi, arabaların egzozlarındaki toksik maddesi gibi bazı zararlı gazların daha az zararlı bileşiklere dönüştürülmesinde kullanılır (Newman ve Smith, 1970; Iwamura ve ark., 2002; Ball, 2004). Paladyum, nükleer teknolojinin farklı alanlarında önemli rol oynamaktadır. Örneğin, proton ve nötron uyarımlı nükleer reaksiyonları, tıbbi radyoizotop üretiminde, aktivasyon analizi ile elementlerin safsızlıklarının belirlenmesinde, düşük aktivasyon malzemelerinin geliştirilmesinde ve yukarıda belirtildiği gibi diğer birçok uygulamada önemlidir (Ditrói ve ark., 2007). Ayrıca, Paladyum izotopları, yıldızlararası ortamda ve galaktik evrimin erken evrelerinde nükleosentezi incelemek için de önemlidir (Wang ve ark., 2016; Pasha ve ark., 2020).

Bu çalışmada, Paladyum izotoplarının (n,2n), (n,p) ve (n, α) reaksiyon tesir kesitleri için Empire-3.2.3 (Malta) (Herman ve ark., 2007, 2013) kodunda bazı seviye yoğunluk modelleri kullanılarak teorik

hesaplamalar yapılmış ve literatürden alınan deneysel ve değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmaları yapılmıştır. Aşağıda, yapılan çalışma detaylı olarak açıklanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bir çekirdeğin yapısal özelliklerinin tanımlanabilmesi ve tesir kesiti hesaplamalarının yapılabilmesi için üzerinde çalışılan çekirdeklerin seviye yoğunluklarının bilinmesi oldukça önemlidir. Çekirdeklerin seviye yoğunluklarının hesaplanabilmesi için değişik seviye yoğunluk modelleri geliştirilmiştir. Böylece, belirli bir enerji aralığındaki enerji seviyelerinin sayısı olarak açıklanan seviye yoğunlukları bu modeller kullanılarak değişik çekirdeklerin seviye yoğunlukları hesaplanmış ve nükleer veri kütüphanelerine katkı sağlanmıştır (Bethe, 1937; Dilg ve ark., 1973; Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Demetriou ve Goriely, 2001; Herman ve ark., 2007, 2013).

Bu çalışmada, nükleer reaksiyon model kodu olan Empire-3.2.3 (Malta) (Herman ve ark., 2007, 2013) versiyonu ile Paladyum izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n, α) reaksiyonları için bazı nükleer seviye yoğunluğu hesaplama modelleri kullanarak tesir kesiti fonksiyonlarının teorik hesaplamaları yapılmıştır.

İlk versiyonu 1980'de yayınlanan EMPIRE programı, birkaç yüz MeV'e kadar olan enerji aralığında fotonlar, protonlar, nötronlar, döteronlar ve tritonlar gibi yayımlanan parçacıkların olasılığını tahmin etmek için farklı yazarlar tarafından yazılmış çeşitli nükleer teorik modelleri içerisinde barındıran modüler bir nükleer reaksiyon kodudur (Herman ve ark., 2007, 2013). EMPIRE programı, FORTRAN'da yazılmış birçok koddan, RIPL'den (Reference Input Parameter Library¹), EXFOR'dan (Experimental Nuclear Reaction Data) ve GUI'dan (Graphical user interface) oluşan bir nükleer reaksiyon model kodu hesaplayan bir ara yüz programıdır (Herman ve ark., 2013).

EMPIRE programı, direkt reaksiyonlar için küresel optik modeli (Koning ve Delaroche 2003), bileşik çekirdek bozunumu hesaplamaları için istatistiksel Hauser-Feshbach modelini (Hauser and Feshbach 1952) ve denge öncesi yayınımlar için exciton modelini (PCROSS kodu) (Capote ve ark., 1991) kullanmaktadır.

Tesir kesitleri, seviye yoğunluğu parametrelerine çok duyarlı olduğundan, tesir kesiti hesaplamaları yapılırken seviye yoğunluğu modeli seçimlerinin yapılması gerekmektedir. EMPIRE'de üçü fenomenolojik ve biri de mikroskobik seviye yoğunluğu modeli olmak üzere dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılmaktadır. Fenomenolojik seviye yoğunluğu modelleri sırasıyla, Gilbert-Cameron Modeli (GCM), Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modeli (Generalized Superfluid Model: GSM) ve Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan Modelidir (Enhanced Generalized Superfluid Model: EGSM) (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979). Mikroskobik seviye yoğunluğu modeli ise Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik modeline (HFMB) dayanmaktadır. Bu dört seviye yoğunluğu modelinin tamamı RIPL-3 deneysel verilerine uyarlanmıştır (Herman ve ark., 2007, 2013).

¹ <https://www-nds.iaea.org/RIPL/>

En iyi bilinen, en basit ve en çok kullanılan seviye yoğunluğun analitik ifadesi Fermi-Gaz Modeli (FGM) (Bethe 1937; Dilg ve ark., 1973) içerisinde türetilmiştir (Herman ve ark., 2007, 2013). Çekirdeğin uyarılma seviyelerini oluşturan tek parçacık durumlarının eşit aralıklı olduğu varsayımına dayanan Fermi-Gaz seviye yoğunluğu modeli;

$$\rho^{FG}(E_x, J, \pi) = \frac{2J+1}{48\sqrt{2}\sigma^{3/2} a^{1/4} U^{5/4}} \exp\left(2\sqrt{aU} - \frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

eşitliği ile verilir (Bethe 1937; Dilg ve ark., 1973; Herman ve ark., 2007, 2013). Eşitlik 1'den görüldüğü gibi, Fermi-Gaz modelindeki nükleer seviye yoğunlukları, etkin uyarılma enerjisine ($U=E_x - \Delta$) nükleer seviye yoğunluğu parametresine ($a=\alpha A$) ve spin kesme parametresine (σ) bağlıdır. Burada, J çekirdeğin spinini, Δ çiftlenim enerjisini, E_x gerçek uyarılma enerjisini, A kütle numarasını, α deneysel verilerden belirlenen sabit sayıyı temsil eder.

EMPIRE'de tesir kesiti hesaplamaları yapılırken yukarıda bahsedildiği gibi belirli parametrelere karşılık gelen ve LEVDEN=0, 1, 2, 3 olarak adlandırılan dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılmaktadır. LEVDEN=0 modeli, EMPIRE'a özgü bir seviye yoğunluğu modelidir (EGSM). RIPL-3 deneysel verilerine uyarlanmıştır (ayrık seviyelere ve nötron rezonans aralıklarına, $\langle D_{obs} \rangle$, ayarlanmış). Model, kritik uyarılma enerjisinin (U_{kritik}) altında olduğu durumlarda Süper Akışkan Modelini (GSM), üstünde olduğu durumlarda Fermi Gaz Modelini (FGM) kullanmaktadır (Capote ve ark., 2009). LEVDEN=1 modeli, RIPL-2 deneysel verileri uyarlanmış (ayrık seviyeler ve nötron rezonans aralıkları, $\langle D_{obs} \rangle$) olan GSM modelidir (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Herman ve ark., 2007, 2013; Koning ve ark., 2008). Model, kritik uyarılma enerjisinin (U_{kritik}) altındaysa Sabit Sıcaklık Modelini (Constant Temperature Model: CTM) (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979), üstünde ise bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisine bağlı olarak Fermi Gaz Modelini kullanmaktadır. LEVDEN=2, RIPL-2 deneysel verileri uyarlı ve yaklaşık 20,0 MeV'e kadar uyarılan bileşik çekirdekler için önerilen ve ayrık seviyelere ayarlanmış olan GCM seviye yoğunluğu modelidir (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979). Gilbert-Cameron modeli, düşük uyarılma enerjilerinde, nükleer seviye yoğunluklarının Sabit Sıcaklık Modelini, yüksek uyarılma enerjilerinde ise düzenli Fermi Gaz seviye yoğunluğu modelini kullanır (Gilbert ve Cameron, 1965; Koning ve ark., 2013). LEVDEN=3, RIPL-3'e uyarlı, sıcaklığa bağlı mikroskobik HFBM seviye yoğunluğu modelini kullanır (Capote ve ark., 2009).

Bu çalışmada, EMPIRE kodu kullanılarak yapılan hesaplamalarda yukarıda belirtilen dört farklı seviye yoğunluğu modelinin tamamı (LEVDEN=0,1,2,3) kullanılmıştır. Bu seviye yoğunluğu girdi değerleri sırasıyla LEVDEN-1, LEVDEN-2, LEVDEN-3 ve LEVDEN-4 olarak isimlendirilmiştir. Her modelde, HMS=0 (Monte Carlo Hybrid Preequilibrium Model), PCROSS=1,5 (exciton model) ve kuantum istatistiksel MSD (Multi-Step-Direct model) (ORION + TRISTAN) ve MSC (Multi-Step-

Compound model) (NVWY teorisi cinsinden) reaksiyonlarının değerleri sıfır olarak (MSC+MSD=0) seçilmiştir (Herman ve ark., 2007, 2013). Empire-3.2.3 (Malta) kodu ile ilgili temel bilgilere Herman ve ark.(2013) çalışmasından ulaşılabilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$, $^{104}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{103}$, $^{106}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{105}$, $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$, $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$, $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$, $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$, $^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$, $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$, $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$, $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarının nötron yakalama reaksiyon tesir kesitleri 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Nükleer reaksiyon tesir kesiti hesaplamaları Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılarak Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan (LEV DEN-0) (Capote ve ark., 2009), Genelleştirilmiş Süper Akışkan (LEV DEN-1) (Ignatyuk ve ark., 1975, 1979; Herman ve ark., 2007, 2013; Koning ve ark., 2008), Gilbert-Cameron (LEV DEN-2) (Gilbert ve Cameron, 1965; Ignatyuk ve ark., 1979) ve Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik (HFBM) (LEV DEN-3) Seviye yoğunluğu modelleri kullanılmıştır.

Hesaplamalardan elde edilen Paladyum izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n, α) reaksiyon tesir kesiti sonuçları, EXFOR² kütüphanesinden (Experimental Nuclear Reaction Data: Uluslararası Deneysel Nükleer Veri Kütüphanesi, versiyon 31-01-2022) alınan deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden (Evaluated Nuclear Data File: Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası, versiyon 10-01-2022) alınan ENDF/B-VIII.0 (USA, 2018), TENDL-2019 (TALYS, 2019) ve JENDL-5 (Japan, 2021) değerlendirilmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Nötron gelme enerjisine göre değişim sonuçları Şekil 1-5 arasında verilmiştir. Ayrıca, 14,5 MeV civarındaki tüm tesir kesiti değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve literatür ile karşılaştırılması aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

3.1. ^{102}Pd İzotopu için (n,2n), (n,p) ve (n, α) Reaksiyonları

$^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$, $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ ve $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonlarının 20,0 MeV'e kadar dört farklı seviye yoğunluğu modeli (LEV DEN-0,1,2,3) kullanılarak teorik olarak hesaplanan tesir kesitlerinin nötron enerjisine göre değişimini veren grafikleri Şekil 1'de çizilmiştir. Şekil 1'de deneysel verilerle ve ENDF'den elde edilen ENDFB-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 değerlendirilmiş verilerin grafikleri karşılaştırılma amacıyla verilmiştir. Hesaplanan uyurma fonksiyon verileri ile deneysel ve değerlendirilmiş değerlerin 14,5 MeV civarındaki değerleri Tablo 1'de ikinci sütunda listelenmiştir.

Şekil 1a'da verilen $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyon tesir kesitleri incelendiğinde, 13,0-18,0 MeV aralığında, LEVDEN-1 ve LEVDEN-3 seviye yoğunluklarından elde edilen tesir kesiti eğrileri birbirleriyle ve deneysel değerlerle uyumlu olduğu gözlenirken, LEVDEN-2 ile elde edilen eğri daha yüksek ve LEVDEN-0 ile elde edilen tesir kesiti eğrisi daha düşük değerler aldığını göstermektedir. 15,0 MeV'e

² <https://www-nds.iaea.org/exfor/>

kadar ENDFB-VIII.0, TENDL-2019 ve JENDL-5 grafikleri hesaplanan tesir kesiti eğrileriyle uyumlu iken, yaklaşık 15,0 MeV'den sonra hesaplanan tesir kesiti eğrilerine göre değerlendirilmiş değerlerin daha düşük olduğu görülmektedir. 17,0 MeV'den sonra hesaplanan LEVDEN-0,1,3 tesir kesiti değerlerinin yaklaşık aynı değerde olduğu görülmüştür. Tablo 1'in ikinci sütununda verilen (n,2n) bölümü incelendiğinde, ortalama 14,5 MeV'de, LEVDEN-0,1,2,3 ile elde edilen tesir kesiti değerleri sırasıyla 911,92 mb, 983,82 mb, 1206,35 mb, 1007,61 mb olduğu, değerlendirilmiş TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 981,69 mb, 916,97 mb ve 1040,72 mb olduğu görülmektedir. EXFOR'dan elde edilen deneysel tesir kesiti değerlerinin ise 1030 ± 105 mb, (Bormann ve ark., 1970) $1028 \pm 4,98$ mb (Filatenkov, 2016), 1272 ± 90 mb (Augustyniak ve ark., 1977), 1150 ± 100 mb (Kong ve ark., 1999) ve 1094 ± 84 mb (Konno ve ark., 1968) olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Şekil 1b'de verilen $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ reaksiyon tesir kesitleri incelendiğinde, yaklaşık 15,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modelinden elde edilen eğrinin en düşük değer gösterdiği ve 15,0 MeV'de LEVDEN-2 ile yaklaşık aynı değere ($\sim 50,0$ mb) ulaştığı görülmektedir. 5,0 MeV ile 20,0 MeV gelme enerji aralığında LEVDEN-3' den elde edilen tesir kesiti eğrisi diğer hesaplanan değerlere göre daha yüksek değerler gösterirken, ENDF'den elde edilen JENDL-5 değerleri ile hemen hemen benzer değişimler gösterdiği görülmektedir. ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm tesir kesiti eğrilerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 14,0 MeV'den sonra, LEVDEN-0 eğrisinin TENDL-2019 eğrisi ile yaklaşık uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1 ve Şekil 1b'den görüldüğü gibi, 14,5 MeV gelme enerji aralığında, Weigel ve ark. (1975) ($62,8 \pm 6$ mb) ve Kong ve ark. (1999) ($59,5 \pm 4$ mb) olmak üzere sadece iki tane deneysel tesir kesiti değeri bulunmuştur. 14,5 MeV enerji aralığında hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla, LEVDEN-0 ile 111,75 mb, LEVDEN-1 ile 51,17 mb, LEVDEN-2 ile 55,12 mb ve LEVDEN-3 ile 161,8 mb olarak elde edilmiştir. TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 111,44 mb, 293,79 mb ve 175,12 mb görülmektedir.

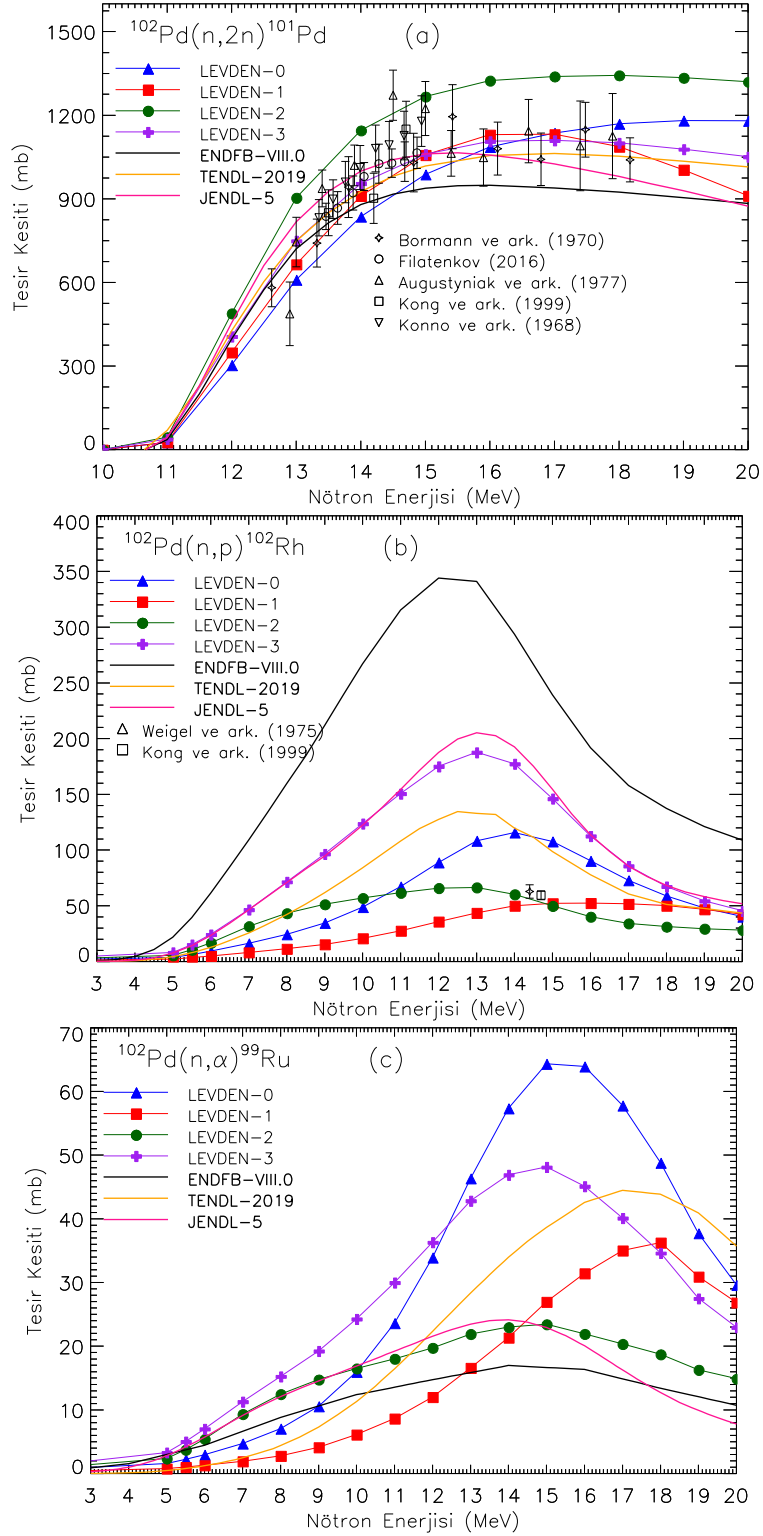
$^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyon tesir kesiti grafikleri Şekil 1c'de verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 1c'den görüldüğü gibi, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonu için literatürde deneysel veriye rastlanmamıştır. Bu nedenle, hesaplanan tesir kesiti eğrileri sadece ENDF'den alınan değerlendirilmiş verilerle kıyaslanmıştır. Şekil 1c'den görüldüğü gibi, nötron girişli dört modelden de hesaplanan tesir kesitlerinin uyarılma durumlarının 15,0 MeV ve yukarı enerjili durumlarda pik yaptıkları görülmektedir. LEVDEN-0 (64,34 mb), LEVDEN-2 (23,45 mb) ve LEVDEN-3 (48,14 mb) seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesiti değişimlerinin 15,0 MeV'de en yüksek değere ulaştığı gözlenirken, LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modelinden elde edilen en yüksek tesir kesiti değerine ise (36,28 mb) yaklaşık 18,0 MeV'de ulaştığı gösterilmektedir. LEVDEN-2 ile JENDL-5 değerlerinin 15,0 MeV'e kadar benzer değişimler gösterdikleri görülmektedir. Ayrıca, TENDL-2019'den elde edilen tesir kesiti değerinin 17,0 MeV'de en yüksek (44,5 mb) değere ulaştığı görülmektedir.

14,5 MeV enerji civarında, hesaplanan ve değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri; LEVDEN-0 ile 57,33 mb, LEVDEN-1 ile 21,35 mb, LEVDEN-2 ile 23,0 mb ve LEVDEN-3 ile 46,91 mb olarak ve

TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 36,48 mb, 16,97 mb ve 23,78 mb olarak elde edilmiştir.

Tablo 1. 14,5 MeV civarında Paladyum izotopları için (n,2n), (n,p) ve (n,α) nükleer reaksiyon tesir kesitleri (mb birimlerinde)

	$^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$	$^{104}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{103}$	$^{106}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{105}$	$^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$	$^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$
LEV DEN 0	911,92	1287,65	1449,35	1558,05	1644,9
LEV DEN 1	983,82	1401,85	1518,55	1598,55	1663,05
LEV DEN 2	1206,35	1445,35	1524,2	1606,45	1671,25
LEV DEN 3	1007,61	1363,85	1462,85	1542,9	1629,85
TENDL2019	981,69	1154,42	1337,92	1327,16	1606,11
ENDFB-VIII.0	916,97	1349,77	1518,16	1585,42	1577,95
JENDL5	1040,72	1390,59	1474,23	1086,74	1086,74
Bormann ve ark. (1970)	1030±105	—	—	—	1539±107
Filatenkov (2016)	1028±4,98	—	—	—	1392±199
Augustyniak ve ark. (1977)	1272±90	—	—	—	4620±43
Kong ve ark. (1999)	1150±100	—	—	—	1620±105
Konno ve ark. (1968)	1094±84	—	—	—	—
	$^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$	$^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$	$^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$	$^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$	$^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$
LEV DEN 0	111,75	32,79	9,75	4,59	1,93
LEV DEN 1	51,17	13,7	5,37	3,19	1,57
LEV DEN 2	55,12	13,92	7,16	3,57	1,7
LEV DEN 3	161,8	23,64	19,72	4,25	1,71
TENDL2019	111,44	41,76	10,57	12,25	1,4
ENDFB-VIII.0	293,79	31,76	25,3	12,81	5,13
JENDL5	175,12	34,45	12,95	12,33	3,77
Weigel ve ark. (1975)	62,8±6	—	—	—	—
Kong ve ark. (1999)	59,5±4	—	12,2±2,5	—	—
Levkovskii ve Artemev (1971)	—	27±8	14±4	—	—
White ve Gray (1972)	—	11,7±3,0	—	7±1	—
Kasugai ve ark. (1998)	—	19,6±5,6	—	4±0,7	—
Konno ve ark. (1993)	—	—	8,94±0,83	—	—
Filatenkov (2016)	—	—	8,85±6,07	—	—
Pasha ve ark. (2020)	—	—	7,9±8,42	—	—
Prasad ve Sarkar (1971)	—	—	—	9±1,2	—
Lu ve ark. (1970)	—	—	5,6±0,7	5,3± 0,5	—
Lan ve ark. (2008)	—	—	—	13,5±1,3	—
	$^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$	$^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$	$^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$	$^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$	$^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$
LEV DEN 0	60,84	18,06	5,96	2,67	1,26
LEV DEN 1	24,16	7,28	2,85	1,81	1,1
LEV DEN 2	23,22	8,34	7,16	3,57	1,15
LEV DEN 3	47,52	24,36	4,94	3,16	1,37
TENDL2019	36,48	16,72	5,57	2,47	1,78
ENDFB-VIII.0	16,97	6,75	1,9	0,73	0,22
JENDL5	23,78	7,05	5,33	3,29	1,69
Weigel ve ark. (1975)	—	—	5,6± 0,5	—	—
Filatenkov (2016)	—	—	5,5± 0,2	3,03±0,22	—
Kong ve ark. (1999)	—	—	5,3± 0,5	2,5± 0,2	—
Konno ve ark. (1993)	—	—	—	2,7± 0,4	—
Levkovskii ve Artemev (1971)	—	—	—	2,3± 0,5	—
Lu ve ark. (1970)	—	—	5,6± 0,7	2,7± 0,3	—
Paul ve ark. (1953)	—	—	—	—	1,4±0,6
Lan ve ark. (2008)	—	—	—	—	2,02±0,96

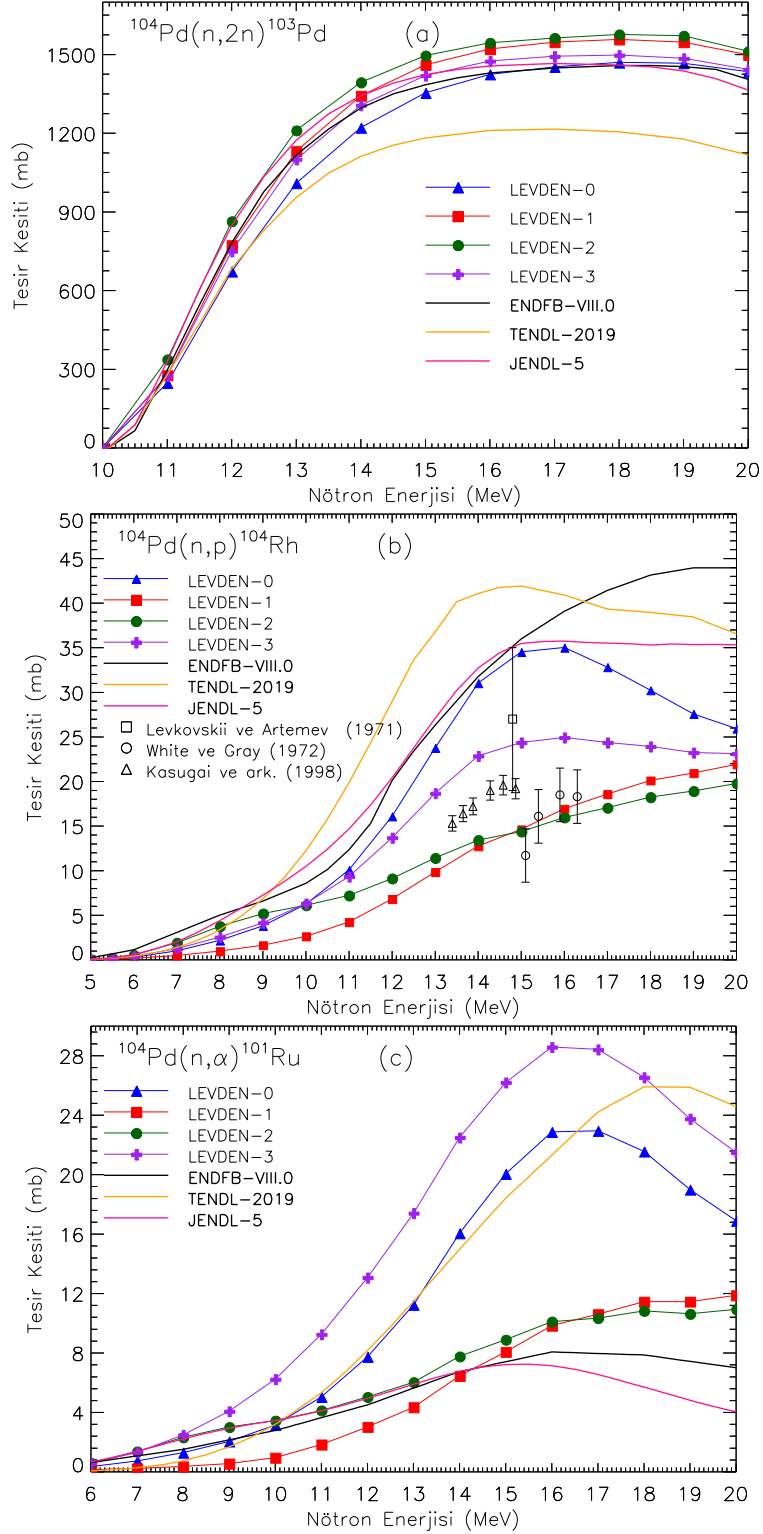


Şekil 1. a) $^{102}\text{Pd}(n,2n)^{101}\text{Pd}$ b) $^{102}\text{Pd}(n,p)^{102}\text{Rh}$ c) $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)^{99}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

3.2. ¹⁰⁴Pd İzotopu için (n,2n), (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

Şekil 2 ve Tablo 1’de, ¹⁰⁴Pd(n,2n)Pd¹⁰³, ¹⁰⁴Pd(n,p)Rh¹⁰⁴ ve ¹⁰⁴Pd(n,α)Ru¹⁰¹ reaksiyonları için dört farklı seviye yoğunluğu modeli (LEV DEN-0,1,2,3) kullanılarak hesaplanan tesir kesiti sonuçları verilmiştir. Şekil 2a’dan görüleceği gibi, literatürde deneysel veri bulunamadığından, hesaplanan tesir kesiti sonuçları sadece ENDF’den elde edilen TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri karşılaştırılmıştır. Tüm seviye yoğunluğu modellerinden (LEV DEN-0,1,2,3) hesaplanan ve ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 ile değerlendirilmiş sonuçlar birbirleriyle iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. TENDL-2019 eğrisi ise bunlara göre daha düşük değerlerde olduğunu göstermiştir. 12,0-20,0 MeV arasında, LEVDEN-0 ile hesaplanan tesir kesiti en düşük (1221,4 mb), Gilbert-Cameron (LEV DEN-2) ile hesaplanan tesir kesiti ise en yüksek (1394,4 mb) olarak hesaplanmıştır. Şekil 2b’de verilen ¹⁰⁴Pd(n,p)Rh¹⁰⁴ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesiti eğrilerinden görüleceği gibi, dört seviye yoğunluğu modelinden hesaplanan tesir kesiti eğrileri, ENDF’den alınan eğrilere göre daha düşük oldukları görülmektedir. Fakat, LEVDEN-0 ile hesaplanan tesir kesiti değeri (15,0 MeV’de 34,5 mb) diğer hesaplanan üç eğriye (LEV DEN-0,2,3) göre daha yüksek olduğu ve 15,0 MeV’e kadar ENDFB-VIII.0 (15,0 MeV’de 35,9 mb) ve JENDL-5 (15,0 MeV’de 35,4 mb) eğrilerine diğerlerinden daha yakın olduğu görülmektedir. TENDL-2019 eğrisi 17,0 MeV’e kadar diğer tüm eğrilere göre daha yüksek değişim gösterirken 14,5 MeV’de 41,76 mb’lık bir tesir kesitine sahiptir. Genel olarak, benzer değişim gösteren LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrileri 15,0 MeV’de yaklaşık aynı değere (~14,5 mb) sahip oldukları ve 15,0 – 16,5 MeV enerji aralığında, White ve Gray (1972) ölçülen tesir kesitleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. 13,4 - 14,87 MeV aralığında Kasugai ve ark. (1998) tarafından ölçülen tesir kesiti sonuçları LEVDEN-1, ve LEVDEN-2’den daha yüksek iken, LEVDEN-3’e göre daha düşüktür. Levkovskii ve Artemev (1971) tarafından ölçülen tesir kesitinin LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 arasında olduğu fakat verilen hata aralığı göz önüne alındığında bu iki modele yakın değerde olduğu görülmektedir.

¹⁰⁴Pd(n,α)Ru¹⁰¹ reaksiyonu için hesaplanan tesir kesitlerinin sonuçları Şekil 2c’de verilmiştir. Literatürde deneysel veri bulunamadığından, hesaplanan tesir kesitleri sadece ENDF kitaplığından elde edilen değerlendirilmiş teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre, benzer değişimler gösteren LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 sonuçları diğer LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 model sonuçlarından daha düşük tesir kesiti eğrilerine sahiptirler. 8,0 – 20,0 MeV aralığında, LEVDEN-3 modelinden elde edilen tesir kesiti eğrisi en yüksek (16,0 MeV’de 28,6 mb) değişim gösterirken LEVDEN-1, ve LEVDEN-2 modellerinden elde edilen eğriler en düşük değerlere sahiptirler. 13,0 MeV’e kadar LEVDEN-2 modeli ile değerlendirilmiş JENDL-5 ve ENDFB-VIII.0 eğrilerinin uyumlu oldukları görülmektedir. 15,5 MeV’e kadar LEVDEN-0 tesir kesiti (21,5 mb) eğrisi TENDL-2019 eğrisi (20,3 mb) ile benzer uyumu göstermiştir.



Şekil 2. a) $^{104}\text{Pd}(n,2n)^{103}\text{Pd}$ b) $^{104}\text{Pd}(n,p)^{104}\text{Rh}$ c) $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)^{101}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

3.3. ^{106}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

$^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ reaksiyonu için seviye yoğunluğu modelleriyle hesaplanan ve ENDF kütüphanesinden elde edilen değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri Şekil 3a'da verilmiştir. $^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ reaksiyon tesir kesiti için literatürde herhangi bir deneysel veriye rastlanmadığından, hesaplanan tesir kesiti değerleri sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş veriler ile kıyaslanmıştır. Buna göre,

10,0 MeV ile 20,0 MeV arasında modellerden hesaplanan tesir kesiti değerleri ile ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 verileri genel olarak uyumlu olduğu gözlenirken, 13,0 MeV'den sonra, TENDL-2019 eğrisinin daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. Şekil 3a'dan ve Tablo 1'den görüldüğü gibi, 14,5 MeV civarında LEVDEN-0,1,2,3 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplan tesir kesiti değerleri sırasıyla 1449,35 mb, 1518,55 mb, 1524,2 mb, 1462,85 mb olarak hesaplanırken, TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 değerleri ise sırasıyla 1337,92 mb, 1518,16 mb ve 1474,23 mb olarak verilmiştir.

$^{106}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{106}$ reaksiyonu için hesaplanan, deneysel ve değerlendirilmiş tesir kesiti değerleri Şekil 3b ve Tablo 1'de verilmiştir. LEVDEN-0,1,2 seviye yoğunluğu model hesaplama sonuçları 10,0-20,0 MeV aralığında yaklaşık olarak birbiriyle uyumlu iken, LEVDEN-3 model hesaplamasının bunlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. 13,0 MeV'den 15,0 MeV kadar LEVDEN-0 modelinden elde edilen değerlerin, yaklaşık olarak bütün ölçülen deneysel sonuçlarla ve TENDL-2019 ile uyum içinde oldukları görülmektedir. ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm tesir kesiti eğrilerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 1'den görüleceği gibi 14,5 MeV civarında LEVDEN-0 ile 9,75 mb, Kong ve ark. (1999) tarafından $12,2 \pm 2,5$ mb, Levkovskii ve Artemev (1971) tarafından 14 ± 4 mb, Konno ve ark. (1993) tarafından $8,94 \pm 0,83$ mb, Filatenkov (2016) tarafından $8,85 \pm 6,07$ mb, Pasha ve ark. (2020) tarafından $7,9 \pm 8,42$ mb ve Lu ve ark. (1970) tarafından $5,6 \pm 0,7$ mb olarak ölçülmüştür. Bunlara ek olarak, deneysel değerlerin hata sınırları göz önüne alındığında, aynı enerji aralığında LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel ve JENDL-5 değerleri ile de yaklaşık olarak uyum içinde olduğu görülmektedir. 14,5 MeV'de LEVDEN-1, 2, 3 modellerinden hesaplanan tesir kesitlerinin sırasıyla 5,37 mb, 7,16 mb ve 19,72 mb olduğu görülmektedir.

$^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$ reaksiyonunun 20,0 MeV'e kadar hesaplanan ve literatürden alınan tesir kesiti değerlerinin değişim grafikleri Şekil 3c'de ve 14,5 MeV'deki değerleri Tablo 1'in dördüncü sütununda verilmiştir. 13,5-15,0 MeV aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel ve TENDL-2019 ve JENDL-5 sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülürken, 20,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 sonuçlarının tüm değerlerden daha düşük ve LEVDEN-2 sonuçlarının ise daha yüksek olduğu görülmektedir.

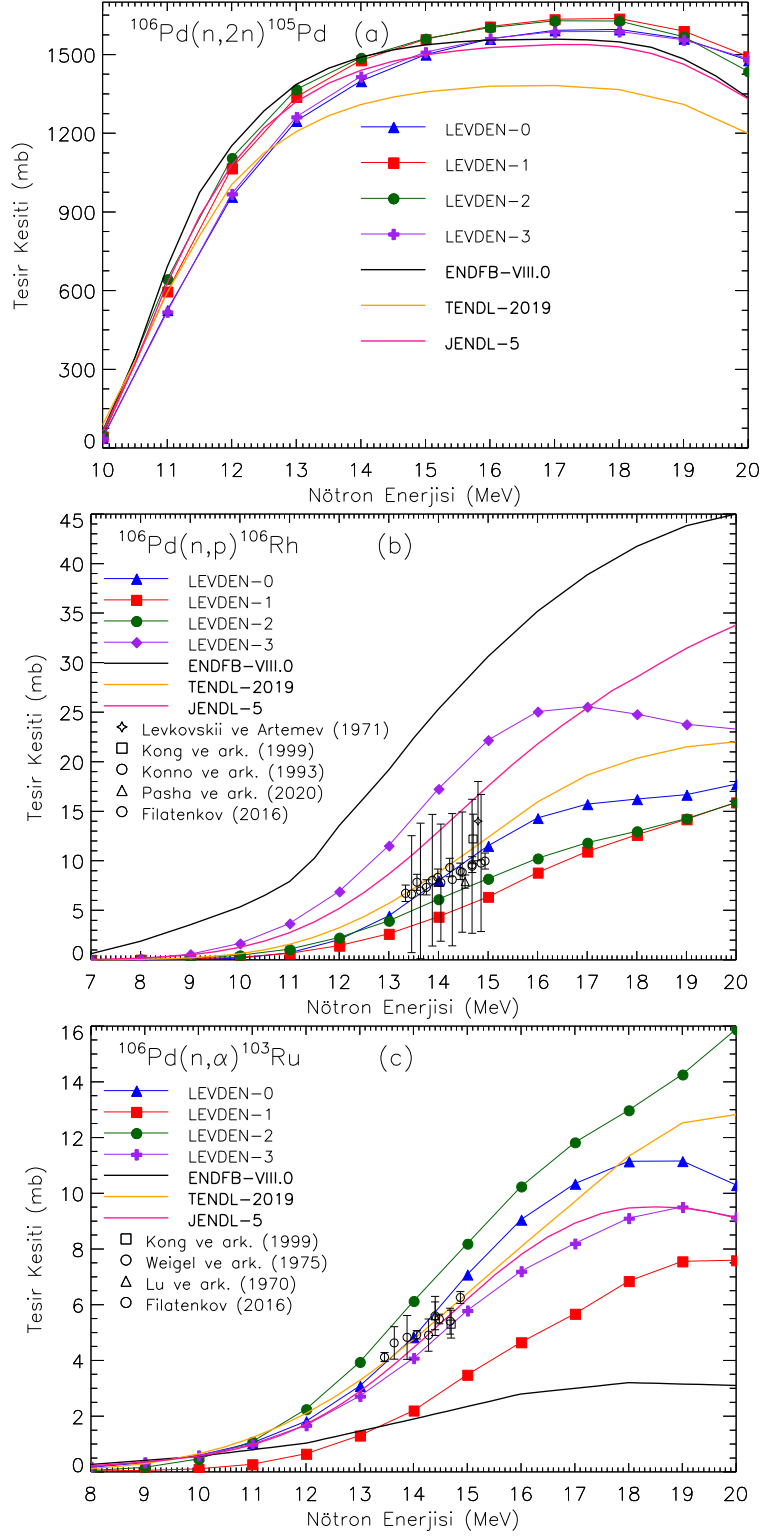
13,5 MeV'den sonra ENDFB-VIII.0 eğrisinin diğer tüm eğrilerden daha düşük olduğu görülmektedir. LEVDEN-3 eğrisinin değerlendirilmiş JENDL-5 eğrisi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1'den 14,5 MeV'de modellerden hesaplanmış olduğumuz reaksiyon tesir kesiti değerleri; LEVDEN-0 ile 5,96 mb, LEVDEN-1 ile 2,85 mb, LEVDEN-2 ile 7,16 mb ve LEVDEN-3 ile 4,94 mb olduğu ve ENDF kütüphanesinden alınan değerlerin ise TENDL-2019 ile 5,57 mb, ENDFB-VIII.0 ile 1,9 mb ve JENDL-5 ile 5,33 mb olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında EXFOR veri kütüphanesinden alınan deneysel değerler ise sırasıyla $5,6 \pm 0,5$ mb (Weigel ve ark., 1975), $5,5 \pm 0,2$ mb (Filatenkov, 2016), $5,3 \pm 0,5$ mb (Kong ve ark., 1999) ve $5,6 \pm 0,7$ mb (Lu ve ark., 1970) olarak ölçülmüştür.

3.4. ^{108}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

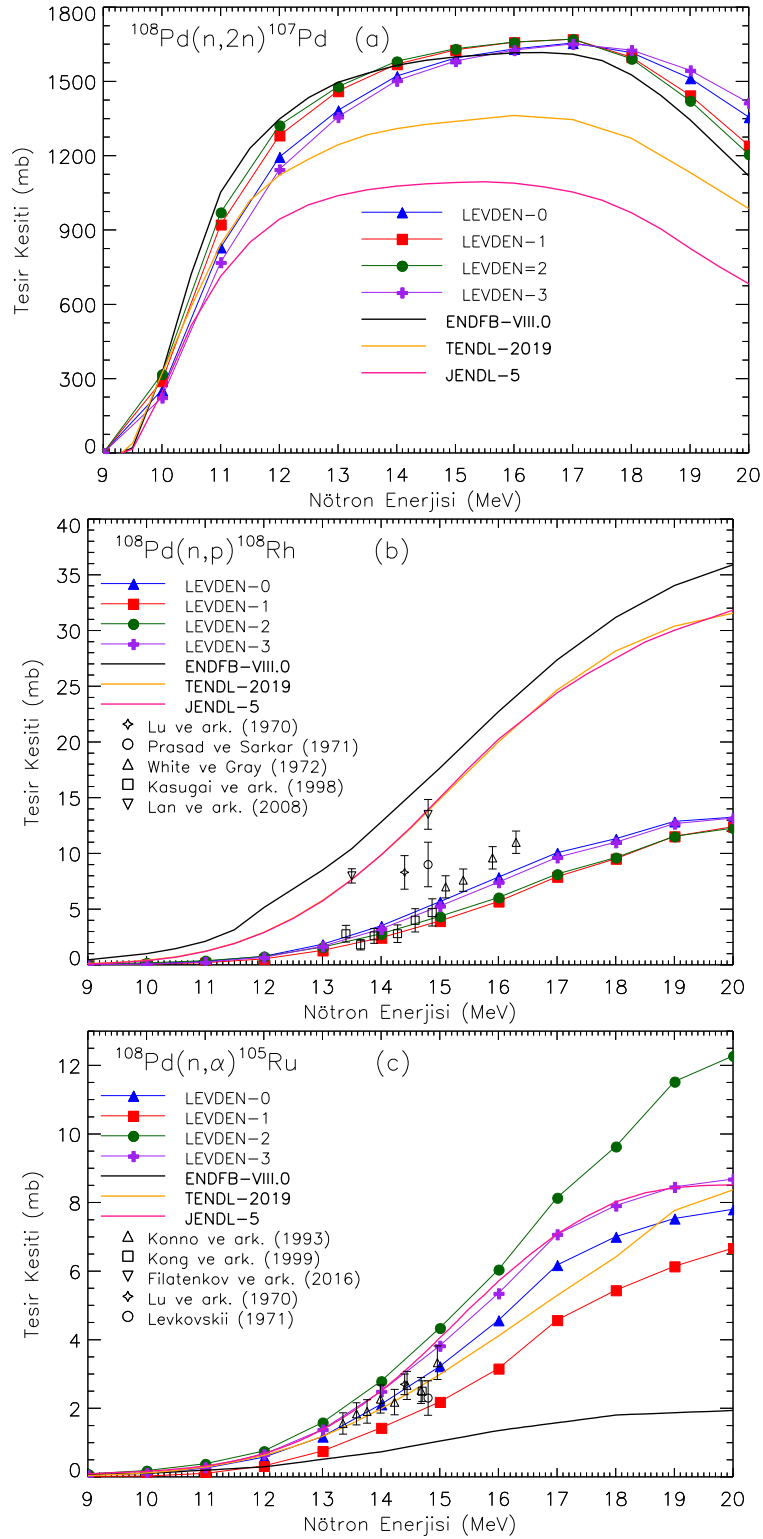
Şekil 4' te dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılarak teorik olarak hesaplanan $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$, $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ ve $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyon tesir kesitlerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 4a incelendiğinde, literatürde $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$ reaksiyonuyla ilgili herhangi bir deneysel veriye rastlanmadığından, hesaplanan değerler sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerler ile kıyaslanmıştır. Buna göre, 9,0-20,0 MeV aralığında modellerden hesaplanan tüm tesir kesiti eğrilerin ENDFB-VIII.0 ile uyum içinde olduğu, TENDL-2019 ve JENDL-5 eğrilerine göre daha yüksek değişim gösterdikleri görülmektedir. Genel olarak, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. 14,5 MeV'de hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla 1558,05 mb (LEVDEN-0), 1598,55 mb (LEVDEN-1), 1606,45 mb (LEVDEN-2) ve 1542,9 mb (LEVDEN-3) iken değerlendirilmiş TENDL-2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 tesir kesiti değerleri ise sırasıyla 1327,16 mb, 1585,42 mb ve 1086,74 mb olduğu görülmektedir.

Şekil 4b'de verilen $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, 20,0 MeV'e kadar tüm modellerden hesaplanan tesir kesiti eğrileri benzer değişim gösterirken, TENDL2019, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 tesir kesiti değerlerine göre ise daha düşük değişim göstermektedir. LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülürken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin de birbiriyle uyumlu oldukları görülmektedir. 13,4-14,87 MeV aralığında LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrilerinin Kasugai ve ark. (1998) tarafından ölçülen deneysel verilerle yaklaşık olarak uyumlu olduğu görülürken, 15,1- 16,3 MeV aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin White ve Gray (1998) tarafından ölçülen deneysel verilerden biraz düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, Lan ve ark. (2008) tarafından ölçülen tesir kesiti değerlerinin TENDL-2019 ve JENDL-5 ile uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1'den, 14,5 MeV'de LEVDEN-0 ile 4,59 mb, LEVDEN-1 ile 3,19 mb, LEVDEN-2 ile 3,57 mb, LEVDEN-3 ile 4,25 mb, TENDL-2019 ile 12,25 mb, ENDFB-VIII.0 ile 12,81 mb, JENDL-5 ile 12,33 mb olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında EXFOR'dan alınan deneysel değerler ise sırasıyla, White ve Gray (1972) tarafından 7 ± 1 mb, Kasugai ve ark. (1998) tarafından $4,0\pm 0,7$ mb, Prasad ve Sarkar (1971) tarafından $9\pm 1,2$ mb, Lu ve ark. (1970) tarafından $5,3\pm 0,5$ mb ve Lan ve ark. (2008) tarafından $13,5\pm 1,3$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 4c'deki $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanan teorik değişim grafikleri incelendiğinde, 13,0-15,0 MeV aralığında deneysel tesir kesiti değerlerinin hata çubukları da göz önüne alınırsa LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin deneysel değerlere uyumlu olduğu, LEVDEN-2 eğrisinin daha yukarıda ve LEVDEN-1 eğrisinin ise daha aşağıda olduğu görülmektedir. Ayrıca, 10,0-20,0 MeV enerji aralığında, LEVDEN-3 eğrisinin JENDL-5 eğrisi ile uyum içinde olduğu görülürken, LEVDEN-0 eğrisinin ise yaklaşık olarak TENDL-2019 ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3. a) $^{106}\text{Pd}(n,2n)^{105}\text{Pd}$ b) $^{106}\text{Pd}(n,p)^{106}\text{Rh}$ c) $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)^{103}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.



Şekil 4.a) $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107}\text{Pd}$ b) $^{108}\text{Pd}(n,p)^{108}\text{Rh}$ c) $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)^{105}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

ENDFB-VIII.0 eğrisinin 12,0 MeV'den sonra tüm tesir kesiti eğrilerine göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. 14,5 MeV'de, LEVDEN-0, 1, 2 ve 3 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesitleri sırasıyla, 2,67 mb, 1,81 mb, 3,57 mb ve 3,16 mb olarak hesaplanmıştır. TENDL-2019 ENDFB-VIII.0, ve JENDL-5 kütüphanesi değerlendirilmiş verileri ise sırasıyla 2,47 mb, 0,73 mb ve 3,29 mb olarak verilmiştir. EXFOR'dan alınan deneysel verilerin ise 14,5 MeV civarında $3,03 \pm 0,22$

mb (Filatenkov 2016), $2,5 \pm 0,2$ mb (Kong ve ark. 1999), $2,7 \pm 0,4$ (Konno ve ark., 1993), $2,3 \pm 0,5$ mb (Levkovskii ve Artemev 1971) ve $2,7 \pm 0,3$ mb (Lu ve ark., 1970) olduğu görülmektedir. 14,5 MeV civarında, modellerden hesaplanan teorik sonuçlar deneysel verilerle kıyaslandığında bütün sonuçların yaklaşık uyumlu olduğu görülmektedir.

3.5. ^{110}Pd İzotopu için $(n,2n)$, (n,p) ve (n,α) Reaksiyonları

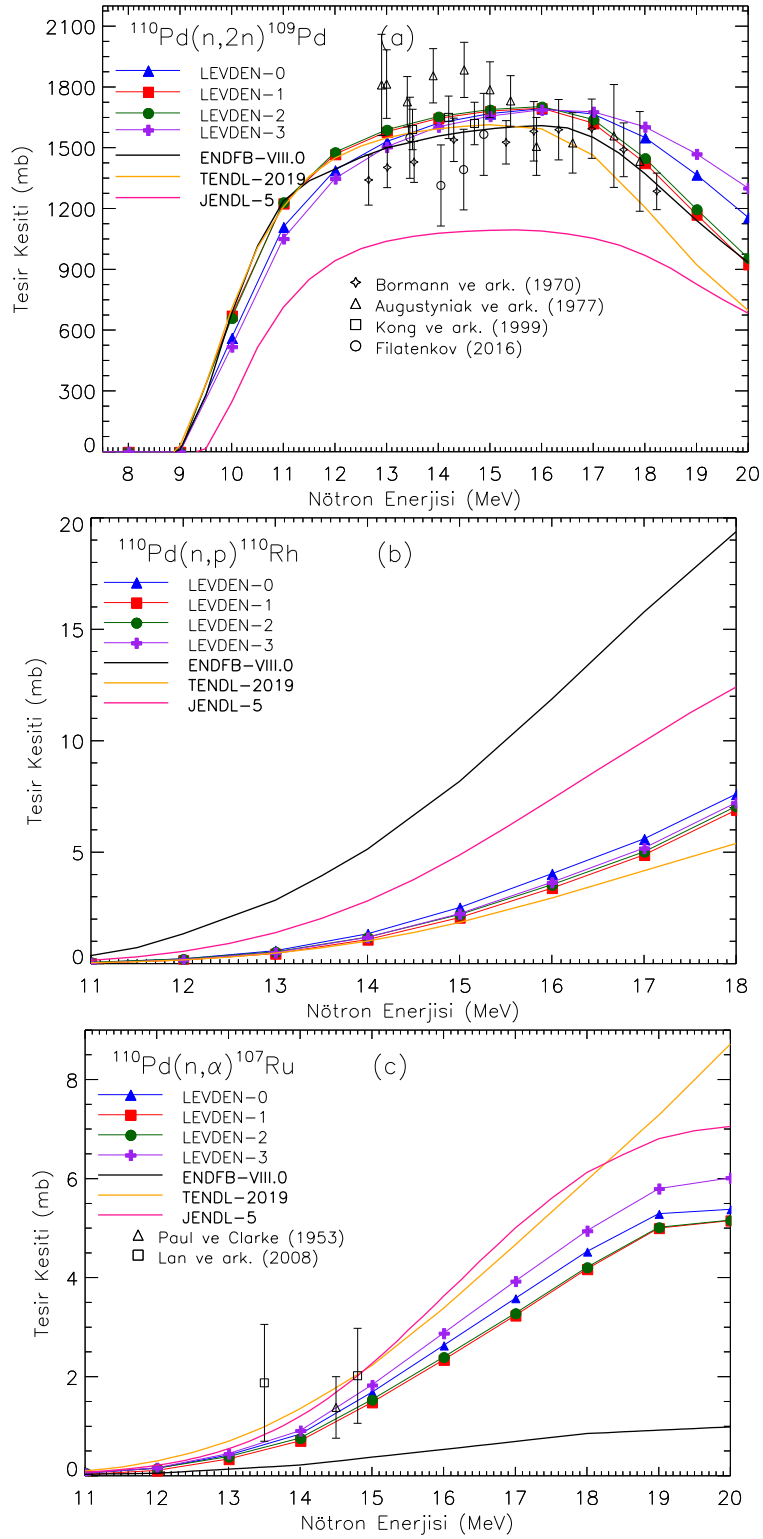
Dört farklı seviye yoğunluğu modeli kullanılarak $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarının 20.0 MeV'e kadar hesaplanan tesir kesitlerinin değişimini veren grafikleri Şekil 5'de çizilmiştir. Şekil 5a'da verilen $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonu için modellerden hesaplanan tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, 20,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle yaklaşık olarak uyumlu olduğu ve 17,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 eğrilerinin birbiriyle oldukça iyi uyumlu olduğu görülmektedir. LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 eğrileri 9,0 MeV'den 20,0 MeV'e kadar birbirleriyle ve TENDL-2019 ile uyumludur. LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerinin 9,0 MeV'den 17,0 MeV'e kadar birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. 9,0-11,5 MeV aralığında, ENDF veri kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş ENDFB-VIII.0 eğrisi ile LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 eğrileri uyumlu iken, 11,5 MeV'den sonra ENDFB-VIII.0 verilerinin azalmaya başladığı ve yaklaşık olarak LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile benzer değişim gösterdiği görülmektedir.

Benzer şekilde, TENDL-2019 eğrisi yaklaşık 13,0 MeV'e kadar LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 eğrileri uyumlu iken, daha sonra düşüş göstermektedir. 13,0-18,0 MeV aralığında literatürden alınan deneysel değerlerin hata aralıkları göz önüne alındığında modellerden (LEVDEN-0-3) hesaplanan ve TENDL-2019 ve ENDFB-VIII.0 verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir. JENDL-5 eğrisinin diğer tüm sonuçlardan çok daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 1'in son sütunundan ve Şekil 1a'dan görüldüğü gibi, 14,5 MeV'de, seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesiti değerleri sırasıyla, LEVDEN-0 ile 1644,9 mb, LEVDEN-1 ile 1663,05 mb, LEVDEN-2 ile 1671,25 mb ve LEVDEN-3 ile 1629,85 mb iken, ENDF'den alınan değerlendirilmiş veriler ise TENDL-2019 ile 1606,11 mb, ENDFB-VIII.0 ile 1577,95 mb ve JENDL-5 1086,74 mb'dir. 14,5 MeV uyarma enerjisi civarındaki deneysel veriler Bormann ve ark. (1970) 1539 ± 107 mb, Filatenkov (2016) 1392 ± 199 mb, Augustyniak ve ark. (1977) 4620 ± 43 mb ve Kong ve ark. (1999) 1620 ± 105 mb olarak verilmiştir.

10,0-20,0 MeV aralığında, modellerden hesaplanan ve ENDF'den alınan değerlendirilmiş verilerin $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyon tesir kesiti eğrileri Şekil 5b'de verilmiştir. Literatürde $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyonu tesir kesiti ile ilgili herhangi bir deneysel veriye rastlanmamıştır. Bu nedenle, modellerden hesaplanan değerler sadece ENDF kütüphanesinden alınan değerler ile kıyaslanmıştır.

Şekil 5b incelendiğinde, modellerden hesaplanan tüm tesir kesiti eğrilerinin birbirleriyle ve TENDL-2019 eğrisi ile uyumlu olduğu gözlenirken, ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 eğrilerinin bunlara göre daha yüksek değişim gösterdiği gözlenmiştir. Tablo 1'den görüleceği gibi, 14,5 MeV'de teorik tesir kesiti değerleri 1,93 mb (LEVDEN-0), 1,57 mb (LEVDEN-1), 1,7 mb (LEVDEN-2) ve 1,71 mb (LEVDEN-

3) olarak hesaplanırken, ENDF'den alınan değerler ise 1,4 mb (TENDL-2019), 5,13 mb (ENDFB-VIII.0) ve 3,77 mb (JENDL-5) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5. a) $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109}\text{Pd}$ b) $^{110}\text{Pd}(n,p)^{110}\text{Rh}$ c) $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)^{107}\text{Ru}$ reaksiyonlarının hesaplanan tesir kesitlerinin literatürden elde edilen deneysel ve değerlendirilmiş değerlerle karşılaştırılması.

$^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonunun 11,0 - 20,0 MeV arası hesaplanan tesir kesiti değerlerinin değişim grafikleri Şekil 5c'de verilmiştir. Şekil 5c incelendiğinde, tüm model hesaplamaları benzer değişim gösterirken, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti değerleri birbirleriyle oldukça uyumlu iken, LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan eğriler ise bunlara göre biraz daha yüksek değişim göstermektedir. Model hesaplamalarından elde edilen tesir kesiti eğrileri, ENDFB-VIII.0 eğrisinden daha yüksek iken, JENDL-5 ve TENDL-2019 eğrilerden daha düşük olduğu görülmüştür. Tablo 1 incelendiğinde, 14,5 MeV'de, Paul ve ark. (1953) tarafından ölçülen deneysel veri değeri ($1,4\pm 0,6$ mb), seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan LEVDEN-0 (1,26 mb) ve LEVDEN-3 (1,37 mb) ile yaklaşık benzer değerler göstermektedir. Lan ve ark. (2008) tarafından 14,8 MeV'de $2,02\pm 0,96$ mb olarak ölçülen tesir kesiti değerinin hata aralığı göz önüne alındığında yine tüm hesaplanan değerlerle benzer olduğu görülmektedir. Tablo 1'den, 14,5 MeV'de, LEVDEN-1,2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan tesir kesitleri sırasıyla, 1,1 mb, ve 1,15 mb olarak hesaplanmıştır. TENDL-2019, JENDL-5 ve ENDFB-VIII.0 değerlendirilmiş değerler ise sırasıyla, 1,78 mb, 0,22 mb ve 1,69 mb'dır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, nötron enerjisinin bir fonksiyonu olarak Platin grubundan olan Paladyum elementinin izotoplarının ($^{102,104,106,108,110}\text{Pd}$) (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri 20,0 MeV'e kadar hesaplanmıştır. Hesaplamalar, Empire-3.2.3 (Malta) istatistiksel model kodu kullanılan "Gelişmiş Genelleştirilmiş Süper Akışkan" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-0), "Genelleştirilmiş Süper Akışkan" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-1), "Gilbert-Cameron" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-2) ve "Hartree-Fock-Bogoliubov mikroskobik" seviye yoğunluğu modeli (LEVDEN-3) ile yapılmıştır. Farklı yoğunluk modellerinde elde edilen sonuçlar, birbirleriyle, EXFOR'dan alınan mevcut deneysel verilerle ve ENDF kütüphanesinden alınan değerlendirilmiş verilerle kıyaslanmıştır. Ayrıca, teorik olarak hesaplanan, deneysel ve değerlendirilmiş verilerin 14,5 MeV civarındaki reaksiyon tesir kesitleri Tablo olarak verilmiştir. Sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- (n,2n) reaksiyonlarında, genellikle LEVDEN-1 ile LEVDEN-2 tesir kesiti eğrileri birbiriyle ve LEVDEN-0 ile LEVDEN-3 tesir kesiti eğrileri de birbirleriyle uyumludur.
- (n,2n), (n,p) ve (n,α) reaksiyon tesir kesitleri için hesaplanan tüm veriler, genel olarak deneysel verilerle ve 14,5 MeV civarında değerlendirilen verilerle iyi bir uyum içindedir.
- $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyonu dışında, 20,0 MeV'e kadar, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan (n,2n) tesir kesiti eğrileri LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanana göre genellikle daha yüksektirler. $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ reaksiyonu için LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modeli diğer model eğrilerine yakındır.
- 10,0–20,0 MeV nötron enerji aralığında, (n,2n) reaksiyon tesir kesitlerinde tüm modellerden elde edilen eğrilerin değerlendirilmiş ENDFB-VIII.0 eğrileriyle ile genel olarak yaklaşık uyumlu olduğu

- görülürken, $^{102}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{101}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonları dışında TENDL-2019 eğrilerinin genellikle daha düşük olduğu görülmüştür.
- $^{108}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{107}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,2n)\text{Pd}^{109}$ reaksiyonlarında JENDL-5 sonuçlarının hesaplanan değerlere göre daha düşük olduğu görülmüştür.
 - Tüm (n,p) reaksiyonlarında, LEVDEN-1 ve LEVDEN-2 seviye yoğunluğu modellerinden hesaplanan eğrileri yaklaşık olarak birbirleriyle uyumlu olduğu ve LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 eğrilerine göre biraz daha düşük değişim gösterdiği görülmüştür.
 - $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$, $^{110}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{110}$ reaksiyonlarında tüm modellerden hesaplanan (n,p) tesir kesiti değerlerindeki değişimin genel olarak birleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.
 - $^{102}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{102}$ reaksiyonunda LEVDEN-3 seviye yoğunluğu modelinden hesaplanan değerlerin değerlendirilmiş JENDL-5 sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.
 - $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$ reaksiyonu dışında, diğer hesaplanan (n,p) reaksiyon tesir kesiti eğrilerinde ENDFB-VIII.0 eğrisinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. $^{104}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{104}$ reaksiyonunda, 15,0 MeV'e kadar LEVDEN-0 seviye yoğunluğu eğrisinin yaklaşık olarak ENDFB-VIII.0 eğrisi ile uyumlu olduğu görülmüştür.
 - (n,p) reaksiyonlarında hesaplanan değerler, genel olarak deneysel sonuçlarla uyum içindedirler.
 - $^{108}\text{Pd}(n,p)\text{Rh}^{108}$ reaksiyonunda hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin ENDF'den alınan üç değerlendirilmiş değerlerden elde edilen sonuçlardan oldukça düşük olduğu görülmüştür.
 - 13-15 MeV nötron enerjisi aralığında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan (n, α) tesir kesiti eğrilerinin deneysel verilerle uyumlu oldukları görülmüştür.
 - (n, α) reaksiyon tesir kesiti eğrileri incelendiğinde, $^{102}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{99}$ reaksiyonunda ve bazı $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$ durumlarında LEVDEN-0 ve LEVDEN-3 ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin ve TENDL-2019 eğrisinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülürken, $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyonlarında LEVDEN-2 ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
 - $^{104}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{101}$ reaksiyonunda, yaklaşık 6,0-13,0 MeV arasında LEVDEN=2 ile ENDFB-VIII.0 ve JENDL-5 eğrileri uyumlu iken, yaklaşık 6,0-16,0 MeV arasında LEVDEN=0 ile TENDL-2019 eğrileri birbiriyle uyumludur.
 - $^{106}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{103}$, $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ ve $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonlarında ENDFB-VIII.0 eğrilerinin hesaplanan tesir kesiti eğrilerine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.
 - 20,0 MeV'e kadar $^{108}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{105}$ reaksiyonunda LEVDEN-3 ile JENDL-5 eğrilerinin oldukça uyumlu ve LEVDEN-0 ile TENDL-2019 eğrisinin yaklaşık olarak uyumlu oldukları gözlenmiştir.
 - $^{110}\text{Pd}(n,\alpha)\text{Ru}^{107}$ reaksiyonu dışında, diğer tüm reaksiyon tesir kesitlerinde, LEVDEN-1 seviye yoğunluğu modeli ile hesaplanan tesir kesiti eğrilerinin genel olarak diğerlerine göre daha düşük oldukları görülmüştür.

- 14,5 MeV civarında hesaplanan tesir kesiti değerleri birkaç durum dışında genel olarak deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, Empire-3.2.3 (Malta) bilgisayar kodunda farklı seviye yoğunluk modelleri kullanılarak ^{102,104,106,108,110}Pd için yapmış olduğumuz teorik hesaplamaların, deneysel verilerin bulunmadığı veya deneysel zorluklardan dolayı deneysel verilerin elde edilmesinin mümkün olmadığı durumlar için benzer çalışmalara katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Augustyniak W., Herman M., Marcinkowski A., Zwiegliniski B. Cross sections for the (n,2n) reaction on Pd-102, Pd-110, Cd-112 and Os-192, Nuclear Physics A 1977; 28(1): 145-155.
- Ball P. The elements: A very short introduction. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- Bethe HA. Nuclear dynamics, theoretical, reviews of modern physics, Nuclear Physics B 1937; 9(2): 69-244.
- Bormann M., Bissem HH., Magiera E., Warnemunde R. Total cross sections and isomeric cross section ratios for (n,2n) reactions in the energy region 12 - 18 MeV, Nuclear Physics A, 1970; 157: 481-496.
- Broeders CHM., Konobeyev AY., Korovin YA., Lunev VP., Blann M. Report FZKA-7183, ALICE/ASH Manual, FZK 7183, 2006. (<http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7183.pdf>).
- Capote R., Osorio V., Lopez R., Herrera E., Piris M. Higher institute of nuclear science and technology, cuba. Translated by the IAEA on the March, (PCROSS program code), 1991.
- Capote R., Herman M., Oblozinsky P., Young PG., Goriely S., Belgia T., Ignatyuk AV., Koning AJ., Hilaire S., Plujko V.A., Avrigeanu M., Bersillon O., Chadwick MB., Fukahori T., Zhigang Ge, Yinlu Han, Kailas S., Kopecky J., Maslov VM., Reffo G., Sin M., Soukhovitskii E.Sh., Talou P. Reference input parameter library (RIPL-3). Nuclear Data Sheets, 2009; 110(12): 3107-3214.
- Demetriou P., Goriely S. Microscopic nuclear level densities for practical applications. Nuclear Physics A 2001; 695: 95-108.
- Dilg W., Schantl W., Vonach H., Uhl M. Level density parameters for the backshifted fermi gas model in the mass range 40<A<250. Nuclear Physics A, 1973; 217(2): 269-298.
- Ditrói F., Tárkányi F., Takács S., Mahunka I., Csikai J., Hermanne A., Uddin MS., Hagiwara M., Baba M., Ido T., Shubin Yu., Dityuk AI. Measurement of activation cross sections of the proton

- induced nuclear reactions on palladium. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2007; 272(2): 231–235.
- Filatenkov AA. Neutron activation cross sections measured at KRI in neutron energy region 13.4 - 14.9 MeV, INDC(CCP)-0460 Rev Distr. G+J, INDC International Nuclear Data Committee, St. Petersburg, Russia, 2016.
- Gilbert A., Cameron, AGW. A composite nuclear level density formula with shell correction, *Canadian Journal of Physics* 1965; 43(8): 1446-1496.
- Hauser W., Feshbach H. The inelastic scattering of neutrons. *Physical Review C*, 1952; 87(2): 366-373.
- Herman M., Capote R., Carlson BV., Oblozinsky P., Sin M., Trkov A., Wienke H., Zerkin V. EMPIRE: Nuclear reaction model code system for data evaluation. *Nuclear Data Sheets*, 2007; 108(12): 2655-2715.
- Herman M., Capote R., Sin M., Trkov A., Carlson B., Brown D., Nobre G., Oblozinsky P., Mattoon C., Wienke H., Hoblit S., Cho YS., Nobre GPA., Plujko V., Zerkin V. EMPIRE-3.2 Malta (rev.1) modular system for nuclear reaction calculations and nuclear data evaluation, User's Manual, 2015.(<https://www-nds.iaea.org/empire/index.html>)
- Ignatyuk AV., Smirenkin GN., Tishin AS. Phenomenological description of energy dependence of the level density parameter, *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)*, 1975; 21(3): 485-490.
- Ignatyuk AV., Istekov KK., Smirenkin GN. The role of collective effects in the systematics of nuclear level densities. *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)* 1979; 29(4): 875-883.
- Iwamura Y., Sakano M., Itho T. Elemental analysis of Pd complexes: effects of D₂ gas permeation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2002; 41(1, 7A): 4642–4650.
- Kaplan A., Tel E., Aydin A. The equilibrium and preequilibrium neutron-emission spectra of some, structural fusion materials for (n, xn) reactions up to 16 MeV Energy, *Physics of Atomic Nuclei*, 2009; 72(6): 903–910.
- Kasugai Y., Yamamoto H., Kawade K., Iida T. Measurements of (n,p) cross-sections for short-lived products by 13.4-14.9 MeV neutrons, *Annals of Nuclear Energy* 1998; 25(1–3): 23-45.
- Kavun Y. The empirical cross section behavior of (d, 3n) reaction for 20±1.5 MeV energy, *Applied Radiation and Isotopes*, 2020; 163(6): 109241.
- Kong X., Hu S., Wang R., Yang J., Pu Z. The cross section measurements for 13.5 -14.7 MeV neutron induced reactions on palladium isotopes. *Journal of Lanzhou University, Natural Sciences* 1999; 35(2): 83-88.
- Konno C., Ikeda Y., Oishi K., Kawade K., Yamamoto H., Maekawa H. Activation cross section measurements at neutron energy from 13.3 to 14.9 MeV Using the FNS facility. JAERI 1329, Tokai-mura, 1993.
- Koning AJ., Delaroche JP. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV, *Nuclear Physics A* 2003; 713(3-4): 231–310.

- Koning AJ., Hilaire S., Goriely S. Global and local level density models, *Nuclear Physics A* 2008; 810(1-4): 13-76.
- Koning A., Hilaire S., Goriely S. TALYS-1.6, A Nuclear Reaction Program, User Manual, 1st ed., Westerduinweg 3, P.O. Box 25, NL-1755 ZG, Petten, The Netherlands, 2013. (<http://www.talys.eu/download-talys/htm>).
- Lan CL., Fang KH., Xu XS., Wang Q., Kong XZ., Liu R., Jiang L. Activation cross-section measurements for producing short-lived nuclei with 14MeV neutrons-Ge, Pd, Yb, *Radiation Physics and Chemistry* 2008; 77(7): 854-858.
- Levkovskii VN., Artemev OI. Cross sections of reactions (n, p) and (n, α) at the neutron energy of 14.8 MeV, *Sov. J. Nucl. Phys. (Yadernaja Fizika)*, 1971; 13(5): 529.
- Lu WD., Kumar NR., Fink RW. Activation cross sections for (n,p), ((n,np)+(n,pn)+(n,d)), and (n, α) reactions in the region of Z=40 to 58 at 14.4 MeV, *Physical Review C* 1970; 1: 358.
- Meaze AKMMH., Kim GN. Determination of niobium and palladium resonance cross sections by time-of-flight transmission experiment, *Indian Journal of Physics* 2011; 85(2): 329-338.
- Newman RJ., Smith FJ. Platinum metals from nuclear fission. an evaluation of their possible use by industry, *Platinum Metals Rev.*, 1970; 14: 88-92.
- Oh Y., Kang H., Cho MH., Ko IS., Namkung W., Wang T., Rahman MS., Lee M., Kim G. Measurement of the neutron total cross sections of natural palladium by using pulsed neutrons at pohang neutron facility, *Journal of Nuclear Science And Technology, Supplement*, 2008; 5: 590-593.
- Özdoğan H., Şekerci M., Kaplan A. Investigation of gamma strength functions and level density models effects on photon induced reaction cross-section calculations for the fusion structural materials 46,50Ti, 51V, 58Ni and 63Cu. *Applied Radiation and Isotopes*, 2019; 143: 6-10.
- Özdoğan H., Şekerci M., Kaplan A. An investigation on the effects of some theoretical models in the cross-section calculations of $^{50,52,53,54}\text{Cr}(\alpha,x)$ Reactions. *Physics of Atomic Nuclei* 2020; 83: 820-827.
- Özdoğan H., Üncü YA., Şekerci M., Kaplan A. Estimations of level density parameters by using artificial neural network for phenomenological level density models. *Applied Radiation and Isotopes* 2021; 169: 109583.
- Paul EB., Clarke RL. Cross section measurements of reactions induced by neutrons of the 14,5 MeV energy. *Canadian Journal of Physics* 1953; 31(2): 267-277.
- Pasha I., Rudraswamy B., Suryanarayana SV., Naik H., Ram SP., Danu LS., Patel T., Bishnoi S., Karantha MP. Measurement of neutron induced reaction cross sections of palladium isotopes at the neutron energy of 14.54 +/- 0.24 MeV with covariance analysis. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry* 2020; 325(2): 175-182.
- Prasad R., Sarkar DC. Measured (n,p) reaction cross-sections and their predicted values at 14.8 MeV, *II Nuovo Cimrntlo A* 1971; 3(4): 467-478.

- Sahan M., Tel E., Aydın A., Yegingil İ. Investigation of some stellar iron group fusion materials for (n, p) reactions. *Journal of Fusion Energy* 2012; 31: 52-64.
- Sahan M., Tel E., Sahan H., Gevher U., Kara A. Cross section calculations of (n,2n) and (n,p) nuclear reactions, on Germanium isotopes at 14–15 MeV, *Journal of Fusion Energy* 2016; 35: 730-742.
- Sahan H., Sahan M., Tel E. Cross-section calculation of (n, p) and (n,2n) reactions for high temperature reactors construction materials tungsten and rhenium. *Physics of Atomic Nuclei* 2021; 84(5): 724-738.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A. Investigation on the different production routes of ^{67}Ga radioisotope by using different level density models. *Moscow University Physics Bulletin*, 2019; 74(3): 277-281.
- Şekerci M., Özdoğan H., Kaplan A. Level density model effects on the production cross-section calculations of some medical isotopes via (α, xn) reactions where $x = 1-3$, *Modern Physics Letters A*, 2020; 35(24): 2050202.
- Takahashi S., Ikeda M., Iwata K., Tanaka S., Akayama R., Takahashi T. Estimation of the radiation dose of ^{107}Pd in palladium products and preliminary proposal of appropriate clearance level. *Journal of Nuclear Science and Technology* 2018; 55(12): 1490-1495.
- Tel E., Şarer B., Okuducu Ş., Aydın A., Tanır G. A new empirical formula for 14–15 MeV neutron-induced (n, p) reaction cross sections, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 2003; 29: 2169-2177
- Tel E., Bölükdemir MH., Okuducu S., Aydın A., Kaplan A. Investigation of neutron skin effect, with density dependence by using a new calculation method for initial exciton numbers on pre-equilibrium reactions. *Physica Scripta*, 2009; 80, 065201.
- Tel E., Kavun Y., Sahan M., Aydın A. A study on the new empirical cross section formulae for (c, p) reactions at 20 – 1 MeV incident energy. *Journal of Fusion Energy* 2018; 37: 270-274
- Uwamino Y., Sugita H., Kondo Y., Nakamura T. Measurement of neutron activation cross sections of energy up to 40 MeV using semi-monoenergetic p-Be neutrons. *Nuclear Science and Engineering* 1992; 111(4): 391–403.
- Uwamino Y., Sugita H., Kondo Y., Nakamura T. Measurement of neutron activation cross sections for energies up to 40 MeV for natural samples of Si, Cu and Zn. *Journal of Nuclear Science and Technology* 1994; 3(1): 1-11.
- Wang T., Kim G., Oh YD., Cho MH., Ko IS., Namkung W. Neutron total cross sections and resonance parameters of palladium. *Nuclear Science and Engineering* 2016; 183: 286–297.
- Weigel H., Michel R., Herr W., Measurement of 14MeV cross sections for (n,p), (n,alpha),(n,2n) and (n,np+pn+d) reactions in the elements Sc,Ni,Ge,Pd,Cd,Sm,Dy,Gd and Yb by taking into account the "effective" n-energy spectra (in German). *Radiochim Acta* 1975; 22: 11.
- White RL., Gray TJ. Neutron cross sections in Pd isotopes over an energy range of 15.1 to 16.3 MeV. *Bulletin of the American Physical Society Ser. II* 1972; 17: 687 (FD10).

Yiğit M., Kara A. Model-based predictions for nuclear excitation functions of neutron-induced reactions on $^{64,66,68}\text{Zn}$ targets. *Nuclear Engineering and Technology* 2017; 49: 996-1005.

Yiğit M. A review of (n,p) and (n,α) nuclear cross sections on palladium nuclei using different level density models and empirical formulas. *Applied Radiation and Isotopes* 2018; 140: 355–362.

Farklı Yetiştirme Sistemlerinden Elde Edilen Yumurtaların Farklı Sıcaklıklarda Depolanmasının Yumurta Kalitesi Üzerine Etkisi

Bilal KALE¹, Ali AYGÜN^{2*}

¹ Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 42100, Meram, Konya

² Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 42130, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0001-8418-5871>

²<https://orcid.org/0000-0002-0546-3034>

*Sorumlu yazar: aaygun@selcuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 25.03.2022

Kabul tarihi: 03.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Geleneksel kafes sistemi

Zenginleştirilmiş kafes sistemi

Kapalı sistem

Serbest sistem

Depolama

Yumurta kalitesi

ÖZ

Bu araştırmanın amacı farklı yetiştirme sistemlerinde elde edilmiş yumurtaların farklı sıcaklıklarda 28 gün süre ile depolanmasının yumurta kalite özellikleri üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada yetiştirme sistemleri olarak, geleneksel kafes, zenginleştirilmiş kafes, kapalı yer sistemi, serbest sistem (gezinme alanında doğal vejetasyon) ve serbest sistem (gezinme alanı yonca bitkili) kullanılmıştır. Çalışmada 33 haftalık yaştaki ATA-S yumurtacı genotipinden elde edilen toplam 500 adet yumurta kullanılmıştır. Farklı yetiştirme sistemlerden elde edilen yumurtalar buzdolabı ve oda şartlarında depolanmak üzere rastgele dağıtılmıştır. Depolama öncesi ve depolamanın 7, 14, 21 ve 28. günlerinde her gruptan 10 adet yumurtada kalite özellikleri tespit edilmiştir. Yumurta kalite analizleri olarak, yumurta ağırlık kaybı, yumurta özgül ağırlığı, kırılma direnci, Haugh birimi, sarı indeksi ve ak pH'ı incelenmiştir. Genel olarak incelendiğinde, depolama süresince yumurta ağırlık kaybı, özgül ağırlık, kırılma direnci, sarı indeksi ve ak pH'ı üzerine yetiştirme sistemlerinin önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Depolama sonunda, oda sıcaklığında ve buzdolabı sıcaklığında depolanan yumurtalarda yumurta ağırlık kaybı (%5,68 ve %1,53), özgül ağırlık (1,018 g/cm³ ve 1,068 g/cm³), Haugh birimi (62,98 ve 69,81), sarı indeksi (0,25 ve 0,47) ve ak pH (9,50 ve 8,60) bakımından gruplar arası farklılıklar istatistiksel olarak önemli olmuştur (P<0,05). Depolama süresince buzdolabı şartlarında depolanan yumurtaların oda şartlarında depolanana göre kalite özellikleri bakımından daha iyi durumda olduğu görülmüştür (P<0,05). Sonuç olarak, farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların buzdolabı şartlarında depolanmasının kalite özelliklerini daha uzun süre koruduğu için tercih edilmesi önerilebilir.

The Effect of Eggs Obtained from Different Production Systems at Different Storage Temperatures on Egg Quality

Research Article

Article History:

Received: 25.03.2022

Accepted: 03.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Conventional cage system

Enriched cage systems

Barn system

Free-range systems

Storage

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the effect on egg quality characteristics of storage eggs obtained in different egg production systems at different storage temperatures for 28 days. The egg production systems used in the study were conventional cages, enriched cages, barn systems, free-range systems (natural vegetation in the outdoor area), and free-range systems (alfalfa in the outdoor area). A total of 500 eggs obtained from the 33-week-old ATA-S layer genotype were used in the study. Eggs from different egg production systems were randomly distributed for storage in refrigerators and at room temperature. The egg

quality of ten eggs from each group was determined before storage and on the 7th, 14th, 21st, and 28th days of storage. We investigated egg weight loss, egg-specific gravity, eggshell strength, Haugh unit, yolk index, and albumen pH as indicators of egg quality. In general, the production systems had no effect on egg weight loss, specific gravity, eggshell strength, yolk index or white pH during storage. At the end of storage, the differences between the room temperature and refrigerator temperature groups were statistically significant for egg weight loss (5,68% and 1,53%), specific gravity (1,018 g/cm³ and 1,068 g/cm³), Haugh unit (62,98 and 69,81), yolk index (0,25 and 0,47) and albumen pH (9,50 and 8,50) (P<0,05). The quality characteristics of eggs stored under refrigerated conditions were shown to be better to those stored under room conditions (P<0,05). As a result, it may be suggested that storage eggs from different production systems in the refrigerator is preferable since it preserves their quality properties for a longer period of time.

To Cite: Kale B., Aygün A. Farklı Yetiştirme Sistemlerinden Elde Edilen Yumurtaların Farklı Sıcaklıklarda Depolanmasının Yumurta Kalitesi Üzerine Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1550-1566.

1. Giriş

Kümesler yumurta tavukçuluğu sektöründe üretimin vazgeçilmez unsurlarından birisi olmakla birlikte farklı yetiştirme sistemleri kullanılmaktadır. Bunlar, geleneksel kafes sistemi, zenginleştirilmiş sistem, kuşluklu sistem (aviary), kapalı altlıklı sistem, serbest sistem (free-range) ve organik sistemdir (Altan ve Bayraktar, 2014). Geleneksel kafes sistemi dar alanda daha fazla hayvan yetiştirilebilmesi ve daha ekonomik olmasından dolayı dünyada en fazla tercih edilen yetiştirme sistemidir. Fakat hayvan hakları savunucuları hayvanların doğal davranışlarını (tüneme, eşinme, vb.) geleneksel kafeste gerçekleştiremediklerinden dolayı bu sistemde yumurta üretimine karşı çıkmaktadırlar. Bu amaçla tavukların doğal davranışlarını daha fazla sergileyebildikleri kafes sistemleri geliştirilmiştir (Bozkurt, 2017; Fidan, 2018). Avrupa Birliğinin 1999/74/EC sayılı yönetmeliğine göre geleneksel kafes sisteminin yumurta tavukçuluğunda kullanımı yasaklanmış ve zenginleştirilmiş sisteme geçilmiştir. Bu sistemde; tavuk başına en az 750 cm² taban alanı, her hayvan için en az 15 cm uzunluğunda tünek, hayvanların eşinebileceği eşinme pedi ve folluk oluşturulması gerekli kılınmıştır (Altan ve Bayraktar, 2014; Bozkurt, 2017). Avrupa Birliği ülkelerinde zenginleştirilmiş kafes sistemi tamamen yasaklandıktan sonra yumurta üretimi daha çok kuşluklu sistem ve kapalı altlıklı sistemde yapılmaya başlanmıştır. Kapalı altlıklı sistemde hayvanlar zeminde talaş veya ızgaralar üzerinde barındırılmakta, yerleşim sıklığı 7-9 adet/m², her 7 adet hayvana 1 adet folluk, her bir tavuğa 15 cm uzunluğunda tünek ayrılmaktadır. Serbest sistem ise, kapalı altlıklı sisteme benzer fakat tavukların günde en az 8 saat dışarıya çıkabildikleri bir gezinti alanına sahip olmaları gerekmektedir. Serbest sistemin gezinti alanında herhangi bir yeşil vejetasyon olma zorunluluğu yoktur. Yerleşim sıklığı kapalı alanda 7 tavuk/m² ve gezinti alanında ise hayvan başı 4 m² olarak belirlenmiştir (Anonim, 2014).

Yumurta, yumurtlandığı anda en yüksek kalite değerine sahip olup yumurta kalitesini yetiştirme sistemleri, depolama sıcaklığı, depolama süresi, genotip ve besleme etkilemektedir (Jones ve ark., 2014; Aygun ve Narinc, 2016; Jones ve ark., 2018; Güler ve ark.; Sharma ve ark., 2022). Vlčková ve ark. (2019) serbest sistemden elde ettikleri yumurtaların zenginleştirilmiş kafeslerden elde

ettikleri yumurtaların Haugh birimi değerinden daha düşük fakat ak pH yönünden daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Kraus ve ark. (2019) kapalı altlıklı sistemde üretilen yumurtaların zenginleştirilmiş sistemden üretilen yumurtalardan ak indeksi, Haugh birimi ve sarı indeksi bakımından düşük olduğunu belirtmişlerdir. Yumurta kalitesine etki eden bir diğer önemli faktör depolama sıcaklığı ve süresidir. Depolama sıcaklığı ve süresi arttıkça, yumurta ağırlık kaybı, özgül ağırlık, ak yüksekliği, Haugh birimi ve sarı indeksi düşmekte fakat ak ve sarı pH değeri yükselmektedir (Scott ve Silversides, 2000; Silversides ve Budgell, 2004; Akyurek ve Okur, 2009; Aktan ve Kampus, 2011; Baylan ve ark., 2011; Harput ve Aygün, 2021).

Yapılan literatür araştırmalarına göre farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların farklı depolama şartlarında depolanmanın yumurta kalite özelliklerine etkisi ile yapılan çalışma sınırlı sayıdadır (Jones ve ark., 2014; Kraus ve ark., 2019). Jones ve ark. (2014) kafes sistemlerinden elde edilen yumurtaları 4°C’ de 12 hafta süre ile depolamışlardır. Kraus ve ark. (2019) zenginleştirilmiş sistem ile serbest sistemde elde edilen yumurtaları 4°C’ de 3 hafta süre ile depolamışlardır. Bizim çalışmamızda ise, beş farklı yetiştirme sisteminden elde edilen yumurtalar farklı depolama sıcaklıklarında kalite özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca serbest sistemde gezinti alanının bitki örtüsü ile kaplı olup olmasının kaliteye etkisi de araştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, farklı yetiştirme sistemlerinde elde edilmiş yumurtaların farklı sıcaklıklarda 28 gün süre ile depolanmasının yumurta kalite özellikleri üzerine etkisini araştırmaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Prof. Dr. Orhan DÜZGÜNEŞ Hayvancılık Araştırma ve Uygulama Tesisleri ve Yumurta Kalite Laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada farklı yetiştirme sistemlerinde yetiştirilen 33 haftalık yaştaki ATAK-S yumurtacı genotipinden elde edilen 500 adet yumurta kullanılmıştır. Kümes sistemleri olarak, geleneksel kafes sistemi (G), zenginleştirilmiş kafes sistemi (Z), kapalı altlıklı sistem (K), serbest sistemleri (I; F ve II; Y) kullanılmıştır. Serbest sistem I’de gezinti alanına herhangi bir bitki ekilmemiştir (F). Serbest sistem II’de ise gezinti alanına bitki örtüsü olarak yonca bitkisi ekilmiştir (Y).

2.2. Metot

Yetiştirme sistemlerinden elde edilen toplam 500 adet yumurta oda sıcaklığında (23±2°C) ve buzdolabı sıcaklığında (4±2°C) 28 gün (4 hafta) süresince depolanmıştır. Depolama nem değeri her iki depolama şartlarında %60-65 olarak ayarlanmıştır. Yumurtalar otomatik ayarlanabilen depolama kabinlerinde depolanmıştır (Qualitec, Gc-1000, Türkiye). Denemenin 0, 7, 14, 21 ve 28. günlerinde her gruptan 10 adet yumurtada kalite analizleri yapılarak toplamda 500 adet (5 yetiştirme sistemi x 2 depolama sıcaklığı x 5 periyot x 10 adet yumurta = 500 adet yumurta) yumurta kullanılmıştır. Günlük olarak her bir yetiştirme sisteminden yaklaşık 80 adet yumurta elde

edilmiştir. Bundan dolayı her bir yetiştirme sisteminden elde edilen yumurtalardan 50 adet toplam 250 adet yumurta oda şartlarında depolanmıştır. Ertesi gün toplanan 250 adet yumurta ise buzdolabı şartlarında depolanmıştır. Her bir depolama şartlarındaki yumurtalar belirlen günlere göre analiz edilmiştir.

2.3. Yumurta kalite analizleri

Bütün yumurtaların deneme öncesi ağırlıkları dijital terazi (0,01 g) ile tartılmış ve yumurta üzerine yazılmıştır. Her periyotta analiz yapılacak yumurtalar tekrar tartılarak yumurta ağırlık kaybı (%) belirlenmiştir. Yumurta özgül ağırlığı (g/cm^3) Arşimet prensibinden yararlanılarak aşağıdaki formül ile hesap edilmiştir (Wells, 1968).

Yumurta özgül ağırlığı (g/cm^3)= Yumurtanın havadaki ağırlığı (g) / (yumurtanın havadaki ağırlığı (g) - yumurtanın sudaki ağırlığı (g))

Yumurtanın kabuk kırılma direncini belirlemek için Egg Force Reader (Orka Food Tech. Ltd., Hong Kong, China) cihazı kullanılmıştır. Kabuk kırılma direnci Kg.f cinsinden ifade edilmiştir. Yumurtanın ak yüksekliği Egg Analyzer (Orka Food Tech. Ltd., Hong Kong, China) cihazı ile belirlendikten sonra Haugh (1937) tarafından belirlenen metoda göre Haugh birimi aşağıdaki formül ile hesap edilmiştir.

Haugh birimi = $100 \log (H + 7.57 - 1.7G^{0.37})$

H: Ak yüksekliği (mm)

G: Yumurta ağırlığı (g)' dir.

Yumurtanın ak ve sarısı ayrıldıktan sonra düz bir cam üzerinde sarı yüksekliği dijital yükseklik mihengiri (Tresna, USA) ile sarı çapı ise dijital mikrometre (Mitoyo, Japan) ile ölçülmüş ve Funk (1948)' un belirlediği metot ile hesap edilmiştir.

Yumurta sarı indeksi: Yumurta sarı çapı (mm) / yumurta sarı yüksekliği (mm)

Yumurta ak pH değeri pH metre (Mettler Toledo, Switzerland) ile ölçülmüştür.

2.4. İstatistik Analizler

Araştırma beş adet yumurta üretim sistemi ve iki adet depolama sıcaklığı olmak üzere tesadüf parselleri faktöriyel deneme deseninde yürütülmüştür. Verilerin parametrik test varsayımlarını karşıladığının belirlenmesi amacıyla Kolmogorov Smirnov ve Levene testleri uygulanmıştır. Verilerin normal dağılışa sahip olduğu ve varyansların homojen olduğu belirlendikten sonra çift yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Muameleler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. İstatistiki analizlerde Minitab 16 paket programından faydalanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Yumurta ağırlık kaybı (%)

Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın yumurta ağırlık kayıpları ortalamaları, standart hataları ve istatistik analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Yumurta ağırlık kaybı üzerine depolama sıcaklığı x yetiştirme sistemi interaksiyon etkisi sadece depolamanın birinci haftasında önemli çıkmıştır ($P<0,05$). Depolamanın birinci haftasında en yüksek ağırlık kaybı geleneksel sistemde elde edilen ve 23 °C’ de depolanan yumurtalarda (%1,70) ve en düşük ağırlık kaybı ise zenginleştirilmiş sistemden elde edilen ve 4 °C’de depolanan yumurtalarda (%0,23) tespit edilmiştir.

Tablo 1. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın yumurta ağırlık kaybı (%) üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç yumurta ağırlığı (g)	Yumurta Ağırlık Kaybı (%)				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı (°C)	23	57,86	1,56 ^a	2,77 ^a	4,29 ^a	5,68 ^a
	4	58,56	0,28 ^b	0,63 ^b	1,09 ^b	1,53 ^b
	OSH	0,479	0,030	0,067	0,099	0,121
	P değeri	0,307	0,000	0,000	0,000	0,000
Yetiştirme Sistemi ¹	G	58,03	0,99 ^a	1,74	2,74	3,61
	Z	58,53	0,86 ^{ab}	1,60	2,47	3,76
	K	58,28	0,82 ^b	1,59	2,82	3,68
	F	57,73	0,97 ^a	1,80	2,59	3,58
	Y	58,47	0,96 ^a	1,77	2,82	3,38
	OSH	0,758	0,046	0,106	0,157	0,191
	P değeri	0,943	0,041	0,502	0,416	0,716
Depolama Sıcaklığı (°C) x Yetiştirme Sistemi	23xG	56,88	1,70 ^a	2,90	4,52	5,77
	23xZ	59,11	1,49 ^{bc}	2,61	4,02	5,98
	23xK	57,10	1,33 ^c	2,58	4,47	5,89
	23xF	58,45	1,62 ^{ab}	2,78	4,15	5,57
	23xY	57,76	1,66 ^{ab}	2,99	4,28	5,17
	4xG	59,17	0,28 ^d	0,59	0,96	1,45
	4xZ	57,95	0,23 ^d	0,60	0,92	1,54
	4xK	59,46	0,32 ^d	0,60	1,17	1,48
	4xF	57,02	0,33 ^d	0,82	1,03	1,59
	4xY	59,17	0,25 ^d	0,54	1,36	1,59
	OSH	1,060	0,065	0,148	0,224	0,266
	P değeri	0,207	0,015	0,354	0,671	0,499

^{a-d} Aynı sütunda farklı harflerle belirtilen gruplar arası farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0,05$).

¹G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamanın Standart Hatası

3.2. Özgül Ağırlık (g/cm^3)

Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın özgül ağırlık ortalamaları (g/cm^3) ve standart hataları ile istatistik analiz sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Yumurta özgül ağırlık değeri üzerine depolama sıcaklığı x yetiştirme sistemi interaksiyon etkisi sadece depolamanın birinci haftasında önemli çıkmıştır ($P<0,05$). Depolamanın birinci haftasında geleneksel sistemde elde edilen ve 23 °C’ de depolanan yumurtalarda özgül ağırlık ($1,060 g/cm^3$)

diğer gruplara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Yetiştirme sistemlerinin depolama süresince yumurta özgül ağırlık üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Depolama süresince oda şartlarında depolanan yumurtaların özgül ağırlık değeri buzdolabında depolananlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Tablo 2. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın özgül ağırlık (g/cm^3) üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç özgül ağırlık (g/cm^3)	Özgül ağırlık (g/cm^3)				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	23	1,083	1,064 ^b	1,053 ^b	1,037 ^b	1,018 ^b
	4	1,081	1,077 ^a	1,075 ^a	1,070 ^a	1,063 ^a
	OSH	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	P değeri	0,087	0,000	0,000	0,000	0,000
Yetiştirme Sistemi ¹	G	1,082	1,069	1,064	1,053	1,041
	Z	1,083	1,071	1,064	1,055	1,041
	K	1,081	1,070	1,063	1,051	1,039
	F	1,081	1,072	1,064	1,057	1,042
	Y	1,081	1,071	1,065	1,052	1,040
	OSH	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
	P değeri	0,464	0,411	0,969	0,168	0,858
Depolama Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) x Yetiştirme Sistemi	23xG	1,084	1,060 ^c	1,052	1,033	1,016
	23xZ	1,084	1,065 ^b	1,054	1,041	1,020
	23xK	1,082	1,067 ^b	1,051	1,034	1,017
	23xF	1,081	1,065 ^b	1,052	1,043	1,021
	4xY	1,082	1,064 ^b	1,056	1,035	1,018
	4xG	1,080	1,078 ^a	1,076	1,073	1,066
	4xZ	1,083	1,078 ^a	1,075	1,070	1,063
	4xK	1,081	1,074 ^a	1,076	1,068	1,061
	4xF	1,081	1,078 ^a	1,076	1,070	1,063
	4xY	1,081	1,078 ^a	1,074	1,069	1,062
	OSH	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003
	P değeri	0,772	0,009	0,444	0,149	0,774

^{a-c} Aynı sütunda farklı harflerle belirtilen gruplar arası farklılıklar istatistiki olarak önemlidir ($P<0,05$).

G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamanın Standart Hatası

3.3. Kırılma Direnci (Kg.f)

Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın kırılma direnci ortalamaları (kg.f) ve standart hataları ile istatistik analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde; farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların depolama süresince kırılma direnci üzerine yetiştirme sistemi x depolama sıcaklığı interaksiyon, yetiştirme sistemi ve depolama sıcaklığının etkisi önemsiz olmuştur.

Tablo 3. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları farklı depolama sıcaklıklarında depolamanın kırılma direnci (Kg.f) üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç Kırılma Direnci (Kg.f)	Kırılma Direnci (Kg.f)				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı (°C)	23	3,760	3,599	4,003	3,752	3,593
	4	3,646	3,840	3,881	3,860	3,786
	OSH	0,077	0,088	0,075	0,078	0,089
	P değeri	0,298	0,057	0,252	0,331	0,131
Yetiştirme Sistemi ¹	G	3,791	3,683	4,037	3,927	3,764
	Z	3,734	3,734	3,853	3,817	3,580
	K	3,723	3,661	3,840	3,801	3,678
	F	3,615	3,721	4,023	3,839	3,706
	Y	3,652	3,798	3,959	3,464	3,719
	OSH	0,122	0,140	0,118	0,121	0,139
	P değeri	0,859	0,969	0,658	0,626	0,915
	Depolama Sıcaklığı (°C) x Yetiştirme Sistemi	23xG	3,893	3,447	4,198	3,615
23xZ		3,728	3,627	3,777	3,920	3,275
23xK		3,936	3,566	3,699	3,913	3,735
23xF		3,569	3,666	4,332	3,715	3,595
23xY		3,674	3,687	4,011	3,598	3,448
4xG		3,689	3,918	3,875	4,240	3,615
4xZ		3,740	3,841	3,929	3,714	3,886
4xK		3,510	3,756	3,982	3,690	3,621
4xF		3,661	3,775	3,713	3,963	3,816
4xY		3,630	3,909	3,906	3,694	3,990
OSH		0,172	0,199	0,167	0,171	0,197
P değeri		0,588	0,908	0,065	0,104	0,102

G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamanın Standart Hatası

3.4. Haugh Birimi

Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların oda ve buzdolabı şartlarında depolamanın Haugh birimi (HU) ortalamaları ve standart hataları ile istatistik analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Depolama süresince yumurta Haugh birimi üzerine depolama sıcaklığı x yetiştirme sistemi interaksiyon etkisi önemsiz olmuştur. Yetiştirme sistemlerinin depolama süresince yumurta Haugh birimi üzerine etkisi sadece birinci ve üçüncü haftalarda önemli olmuştur ($P<0,05$). Depolamanın birinci haftasında en düşük Haugh birimi değeri F grubunda (78,79), en yüksek Haugh birimi değeri ise Z grubunda (83,50) tespit edilmiştir ($P<0,05$). Depolamanın üçüncü haftasında en düşük Haugh birimi F grubunda (67,96), en yüksek Haugh birimi ise G grubunda (73,24) belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolama süresince buzdolabı şartlarında depolanan yumurtaların Haugh birimi oda şartlarında depolanarlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Tablo 4. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları farklı depolama sıcaklıklarında depolamanın Haugh birimi (HU) üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç Haugh Birimi	Haugh Birimi				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı (°C)	23	87,68	78,34 ^b	71,80 ^b	68,55 ^b	62,98 ^b
	4	87,71	82,78 ^a	78,96 ^a	74,25 ^a	69,81 ^a
	OSH	1,149	0,749	0,925	0,855	0,772
	P değeri	0,985	0,000	0,000	0,000	0,000
Yetiştirme Sistemi ¹	G	90,11	80,62 ^{ab}	75,48	73,24 ^a	65,31
	Z	90,75	83,50 ^a	78,16	72,62 ^a	68,38
	K	87,44	81,07 ^{ab}	74,67	71,64 ^{ab}	67,98
	F	85,10	78,79 ^b	74,48	67,96 ^b	64,97
	Y	85,07	78,80 ^b	74,13	71,55 ^{ab}	65,34
	OSH	1,814	1,226	1,461	1,354	1,218
	P değeri	0,077	0,029	0,289	0,038	0,133
	Depolama Sıcaklığı (°C) x Yetiştirme Sistemi	23xG	90,99	75,78	72,83	71,57
23xZ		90,47	82,38	75,85	71,52	66,29
23xK		88,43	80,20	73,02	68,57	64,67
23xF		86,22	77,34	68,85	64,38	62,91
23xY		82,27	75,98	68,46	66,72	61,17
4xG		89,24	85,45	78,12	74,90	70,74
4xZ		91,03	84,63	80,47	73,72	70,47
4xK		86,44	81,94	76,32	74,71	71,28
4xF		83,97	80,24	80,11	71,53	67,03
4xY		87,87	81,62	79,79	76,38	69,52
OSH		2,561	1,663	2,060	1,901	1,717
P değeri		0,490	0,148	0,156	0,309	0,261

^{a-b} Aynı sütunda farklı harflerle belirtilen gruplar arası farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamannın Standart Hatası

3.5. Sarı İndeksi

Yumurta sarı indeksi üzerine depolama sıcaklığı x yetiştirme sistemi interaksiyon etkisi sadece depolamanın ikinci haftasında önemli çıkmıştır (P<0,05) (Tablo 5). Depolamanın ikinci haftasında en yüksek sarı indeksi geleneksel sistemden elde edilen ve 4 °C' de depolanan yumurtalarda (0,53) tespit edilmiştir (P<0,05). Yetiştirme sistemlerinin depolama süresince yumurta sarı indeksi üzerine etkisi sadece birinci ve ikinci haftalarda önemli olmuştur (P<0,05). Depolamanın birinci haftasında en düşük sarı indeksi G grubunda (0,42), en yüksek sarı indeksi ise Z grubunda (0,46) tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın ikinci haftasında K ve F gruplarının sarı indeksi değeri (0,37 ve 0,37), G, Z ve Y grubu sarı indeksi değerlerinden (0,41, 0,41 ve 0,40, sırasıyla) daha düşük bulunmuştur (P<0,05). Depolama süresince buzdolabı şartlarında depolanan yumurtaların sarı indeksi oda şartlarında depolananlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (P<0,05).

Tablo 5. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları farklı depolama sıcaklıklarında depolamanın sarı indeksi üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç Sarı İndeksi	Sarı İndeksi				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı (°C)	23	0,55	0,38 ^b	0,30 ^b	0,28 ^b	0,25 ^b
	4	0,54	0,49 ^a	0,49 ^a	0,51 ^a	0,47 ^a
	OSH	0,004	0,006	0,006	0,008	0,009
	P değeri	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000
Yetiştirme Sistemi ¹	G	0,55	0,42 ^c	0,41 ^a	0,41	0,38
	Z	0,55	0,46 ^a	0,41 ^a	0,37	0,37
	K	0,55	0,45 ^{ab}	0,37 ^b	0,40	0,36
	F	0,54	0,44 ^{abc}	0,37 ^b	0,39	0,36
	Y	0,54	0,43 ^{bc}	0,40 ^a	0,41	0,33
	OSH	0,006	0,009	0,010	0,013	0,014
	P değeri	0,724	0,036	0,006	0,252	0,161
Depolama Sıcaklığı (°C) x Yetiştirme Sistemi	23xG	0,56	0,36	0,29 ^c	0,29	0,24
	23xZ	0,55	0,40	0,32 ^c	0,28	0,24
	23xK	0,56	0,41	0,29 ^c	0,26	0,27
	23xF	0,55	0,38	0,29 ^c	0,28	0,25
	23xY	0,54	0,37	0,30 ^c	0,31	0,23
	4xG	0,55	0,48	0,53 ^a	0,53	0,52
	4xZ	0,54	0,51	0,51 ^a	0,47	0,50
	4xK	0,54	0,50	0,45 ^b	0,53	0,45
	4xF	0,54	0,50	0,45 ^b	0,50	0,46
	4xY	0,55	0,49	0,50 ^a	0,51	0,44
	OSH	0,008	0,012	0,015	0,017	0,019
	P değeri	0,630	0,639	0,015	0,185	0,076

^{a-c} Aynı sütunda farklı harflerle belirtilen gruplar arası farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamanın Standart Hatası

3.6. Ak pH

Yumurta ak pH değeri üzerine depolama sıcaklığı x yetiştirme sistemi interaksyon etkisi depolamanın üçüncü haftası hariç tüm periyotlarda önemli çıkmıştır (Tablo 6). Depolamanın birinci haftasında en yüksek ak pH değeri G grubunda elde edilen ve 23 °C' de depolanan yumurtalarda (8,40), en düşük ak pH değeri ise Y grubundan elde edilen ve 4 °C' de depolanan yumurtalarda (7,71) tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın dördüncü haftasında ise en yüksek ak pH değeri Y grubundan elde edilen ve 23 °C' de depolanan yumurtalarda (9,54), en düşük ak pH değeri ise F grubundan elde edilen ve 4 °C' de depolanan yumurtalarda (8,56) tespit edilmiştir (P<0,05).

Tablo 6. Farklı yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaları farklı depolama sıcaklıklarında depolamanın farklı günlerindeki ak pH üzerine etkisi

Gruplar	Başlangıç Ak pH	Ak pH				
		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	
Depolama Sıcaklığı (°C)	23	8,13	8,34 ^a	8,07 ^a	9,08 ^a	9,50 ^a
	4	8,13	7,79 ^b	7,73 ^b	8,73 ^b	8,60 ^b
	OSH	0,027	0,014	0,013	0,009	0,008
	P değeri	0,917	0,000	0,000	0,000	0,000
Yetiştirme Sistemi ¹	G	8,14	8,17 ^a	7,89	8,95 ^a	9,03
	Z	8,18	8,03 ^b	7,87	8,93 ^{ab}	9,06
	K	8,14	8,05 ^b	7,93	8,89 ^{bc}	9,04
	F	8,08	8,05 ^b	7,93	8,91 ^{abc}	9,04
	Y	8,13	8,03 ^b	7,88	8,87 ^c	9,08
	OSH	0,042	0,022	0,020	0,015	0,012
	P değeri	0,631	0,000	0,074	0,003	0,062
Depolama Sıcaklığı (°C) x Yetiştirme Sistemi	23xG	8,05 ^{ab}	8,40 ^a	8,03 ^{ab}	9,11	9,46 ^b
	23xZ	8,11 ^{ab}	8,27 ^b	7,99 ^b	9,11	9,50 ^{ab}
	23xK	8,21 ^a	8,31 ^{ab}	8,10 ^a	9,06	9,50 ^{ab}
	23xF	8,17 ^{ab}	8,35 ^{ab}	8,10 ^a	9,07	9,52 ^a
	23xY	8,11 ^{ab}	8,34 ^{ab}	8,11 ^a	9,06	9,54 ^a
	4xG	8,21 ^a	7,94 ^c	7,75 ^c	8,79	8,61 ^{cd}
	4xZ	8,24 ^a	7,79 ^d	7,74 ^c	8,75	8,62 ^c
	4xK	8,06 ^{ab}	7,79 ^d	7,76 ^c	8,71	8,58 ^{cd}
	4xF	7,99 ^b	7,74 ^d	7,76 ^c	8,74	8,56 ^d
	4xY	8,15 ^{ab}	7,71 ^d	7,64 ^d	8,68	8,62 ^c
	OSH	0,059	0,032	0,029	0,021	0,017
	P değeri	0,014	0,020	0,003	0,732	0,022

^{a-d} Aynı sütunda farklı harflerle belirtilen gruplar arası farklılıklar istatistiki olarak önemlidir (P<0,05). G: Geleneksel Kafes, Z: Zenginleştirilmiş Kafes, K: Kapalı Sistem, F: Serbest Sistem I, Y: Serbest Sistem II, OSH: Ortalamanın Standart Hatası

4. Tartışma

4.1. Yumurta ağırlık kaybı

Depolama süresince yumurta ağırlık kaybı üzerine yetiştirme sistemlerinden daha çok depolama sıcaklığının daha belirgin bir etkisi olduğu görülmektedir. Depolamanın dördüncü haftasında oda şartlarında depolanan yumurtalarda yumurta ağırlık kaybı %5,68 olarak tespit edilmiştir. Aygun ve Narinc (2016) sofralık yumurtalarda oda şartlarında dört haftalık depolanan yumurtalarda ağırlık kaybını % 4,6 olarak tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Akpınar ve ark. (2015) bildircin yumurtalarını 4 haftalık süre ile oda şartlarında depolama ile yumurta ağırlık kaybını %4,53 olarak bulmuşlardır. Jones ve ark. (2018) sofralık tavuk yumurtalarını oda şartlarında dört haftalık süre ile depolamada yumurta ağırlık kaybını %4,67 olarak tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, Pujols ve ark. (2014) sofralık yumurtaları 5 haftalık süre ile oda şartlarında depolamada yumurta ağırlık kaybını %5,28 ile %5,78 arasında tespit etmişlerdir. Çalışmamızda, depolamanın dördüncü haftasında buzdolabı şartlarında depolanan yumurtalarda yumurta ağırlık kaybı %1,53 olarak tespit edilmiştir. Aygun ve Sert (2013) sofralık tavuk yumurtalarını dört hafta süresince buzdolabı şartlarında depolamasında yumurta ağırlık kaybını %2,86 olarak tespit etmişlerdir. Jones ve ark. (2018) sofralık tavuk yumurtalarını dört haftalık süre ile buzdolabı şartlarında depolamışlar ve yumurta

ağırlık kaybını %0,58 olarak bulmuşlardır. Çalışmamızdan elde edilen değerlerin diğer çalışmaların değerlerinden farklı olmasının sebebi depolama sıcaklığı ve ortam neminin farklı olmasından kaynaklanmış olabilir. Yumurta ağırlık kaybı yumurta kabuğundaki porlar aracılığıyla suyun buharlaşması neticesinde olmaktadır. Yumurta yumurtlanmadan kısa bir süre önce porlar kütikül adı verilen bir madde aracılığı ile kapatılmaktadır (Simons, 1971; Sarıca ve Erensayın, 2014). Fakat yumurta yumurtlandıktan 24 saat içinde kütikülün kurumasına bağlı olarak geçirgenlik artmakta ve suyun buharlaşması gerçekleşmektedir (Rodríguez-Navarro ve ark., 2013).

4.2. Yumurta özgül ağırlığı

Depolama süresince yumurta özgül ağırlık üzerine yetiştirme sistemlerinin bir etkisi olmadığı fakat buzdolabı şartlarında depolanan yumurtalarının oda şartlarında depolananlara göre daha yüksek özgül ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir ($P < 0,05$). Yetiştirme sistemlerinin yumurta özgül ağırlığı üzerine önemli bir etkisi olmadığı sonucu, Lewko ve Gornowicz (2011)' in kafes, kapalı ve serbest sistemden elde edilen yumurtaların yumurta hava boşluğunu önemli derecede etkilemediğini belirttiği çalışmasıyla uyumludur. Yumurta özgül ağırlığı genotip, depolama şartları, rasyon, kabuk mukavemeti, kabuk kalınlığı, yumurta ağırlığı ve yumurta kabuk rengi özelliklerinden etkilenebilmektedir (Wells, 1967; Ahmad ve ark., 1976; Grover ve ark., 1980; Miles ve Harms, 1982; Nordstrom ve Ousterhout, 1982; Dohnal ve ark., 1988; Aygun ve Yetisir, 2010; Aygun, 2014; Aygun ve Narinc, 2016; Syafiah ve ark., 2021). Araştırmamızda, oda şartlarında dört hafta depolanan yumurtaların özgül ağırlık değeri $1,018 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Oliveira ve ark. (2020) sofralık tavuk yumurtalarını dört hafta süresince oda şartlarında depolanması ile yumurta özgül ağırlığını $1,033 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Batkowska ve ark. (2016) serbest sistemde üretilen yumurtaları $18 \text{ }^\circ\text{C}$ de 28 günlük süre depolama ile yumurta özgül ağırlık değerini $1,029 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızda, yumurtaların buzdolabı şartlarında dört hafta süresince depolanması sonucu yumurta özgül ağırlık değeri $1,063 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Aygun ve Narinc (2016) geleneksel kafeslerden elde edilen tavuk yumurtalarını dört hafta süresince buzdolabında depolamışlar ve yumurta özgül ağırlık değerini $1,045 \text{ g/cm}^3$ olarak belirtmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar literatür ile farklılığın sebebi depolama sıcaklığı, depolama nemi ve depolama süresindeki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

4.3. Yumurta kabuk kırılma direnci

Depolama süresince yumurta kabuk kırılma direnci üzerine yetiştirme sistemlerinin ve depolama sıcaklığının önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu sonuç yumurta kabuk kırılma direnci üzerine depolama şartlarının önemli bir etkisinin olmadığını belirten çalışmalarla uyumludur (Suk ve Kwon, 2004; Jo ve ark., 2011; Jones ve ark., 2014; Petek ve ark., 2014; Jones ve ark., 2018).

4.4. Haugh birimi

Depolamanın üçüncü haftasında kafes sistemi ile kapalı sistemden elde edilen yumurtaların Haugh birimi farklılık göstermemiştir. Bu sonuç Abo Ghanima ve ark. (2020) kafes sisteminden elde edilen yumurtaların Haugh birimi kapalı sistemden elde edilen yumurtların Haugh birimi değerinden daha yüksek olduğu ile ilgili çalışması ile uyumlu değildir. Bu farklılık depolama sıcaklık ve nem değerlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Yumurta ak kalitesinin en iyi göstergesi olarak Haugh birimi kabul edilmektedir. Oda şartlarında depolanan yumurtaların Haugh birimi buzdolabı şartlarında depolanana göre daha düşük olmaktadır (Samli ve ark., 2005; Akter ve ark., 2014; Liu ve ark., 2016; Martínez ve ark., 2021). Depolama süresince Haugh birimindeki değişiklikler koyu akın daha sıvı ak durumuna geçmesi ile ilgilidir. Koyu ak tabakasında bulunan ovomucin proteinin yapısının bozulması ile ak yüksekliğinde düşmeyle beraber Haugh biriminde düşüşler görülebilmektedir (Strixner ve Kulozik, 2011; Quan ve Benjakul, 2018; Quan ve Benjakul, 2019). Ayrıca yumurta akından su kaybının olması Haugh biriminin düşmesine sebep olabilmektedir. Çalışmamızdaki farklı sıcaklıkların Haugh birimini farklı etkilemesinin sebebi depolama sıcaklığı arttıkça yumurta akındaki suyun daha fazla uzaklaşması, ak yüksekliğinin düşmesi ve yumurta ağırlığının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.5. Sarı indeksi

Genel olarak bakıldığında depolama süresince yumurta sarı indeksi üzerine yetiştirme sistemlerinin net bir etkisi olmadığı fakat depolama sıcaklığının sarı indeksi üzerine önemli bir etkisi olduğu görülmüştür ($P<0,05$). Yetiştirme sistemlerinin depolama sonucunda sarı indeksi üzerine etki olmadığı ile ilgili sonucumuz, Jones ve ark. (2014) sarı indeksi üzerine yetiştirme sistemlerinin önemli bir etkisi bulunmaması ile ilgili sonucu ile uyumludur. Ana etkilerden depolama sıcaklığının yumurta sarı indeksi üzerine etki yaptığı görülmektedir. Yumurta sarı indeksi üzerine yumurta depolama şartları ve süresi önemli etki etmektedir (Aygün ve Narinc, 2016; Akarca ve ark., 2021). Depolama süresince yumurtanın sarı kısmından ak kısmına su geçişine bağlı olarak sarı yüksekliğinin azalmasına ve dolayısıyla sarı indeksinin düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca depolama süresince vitellin zarının yapısının bozulması ve daha elastik bir duruma geçmesi de sarı yüksekliğinin düşmesi ve sarı çapının artmasına sebep olmaktadır.

4.6. Yumurta ak pH

Depolama sonunda yumurta ak pH'ı üzerine yetiştirme sistemleri x depolama sıcaklığı interaksyon etkisinin önemli olduğu görülmektedir. Depolama süresince yumurta ak pH değeri yumurta akından suyun ve CO₂'in porlar aracılığıyla uzaklaşması neticesinde değişmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda depolama süresine bağlı olarak depolama sıcaklığı ak pH'ının yükselmesinde önemli bir etki yaptığı ifade edilmektedir (Avan ve Alişarlı, 2002; Chung ve Lee, 2014; Aygün ve

Narinc, 2016; Ayoola ve ark., 2016). Çalışmamızda depolama sonunda en yüksek ak pH değerinin serbest sistemden (Y grubu) elde edilen ve oda sıcaklığında depolan yumurtalarda, en düşük ak pH değerinin ise serbest sistemden (F) elde edilen ve buzdolabı şartlarında depolanan yumurtalarda tespit edilmiştir. Yetiştirme sistemlerinden elde edilen yumurtaların depolama süresince ak pH yönünden farklı tepki gösterdiği söylenebilir. Bunun sebebi anlaşılamamıştır. Çünkü bu sistemlerden elde edilen yumurtaların depolama süresince yumurta ağırlık kaybı yönünden bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

5. Sonuçlar

Çalışmamızın sonuçlarına göre, depolama süresince yetiştirme sistemlerinin yumurtaların kalite özellikleri üzerine belirgin bir etki yapmadığı görülmüştür. Depolama süresince yumurta kalite özellikleri üzerine depolama sıcaklığının önemli bir etki yaptığı görülmektedir. Sonuç olarak; yumurta hangi yetiştirme sisteminden elde edilirse edilsin buzdolabı şartlarında depolanmasının yumurta kalitesinin daha uzun süre korunmasında fayda sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Zir. Müh. Bilal KALE'nin Yüksek Lisans tezinden özetlenmiş olup Selçuk Üniversitesi B.A.P. tarafından 20211025 no'lu Tez Projesi ve TÜBİTAK TOVAG-1170792 nolu proje ile 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.

Kaynaklar

- Abo Ghanima MM., Elsadek MF., Taha AE., Abd El-Hack ME., Alagawany M., Ahmed BM., Elshafie MM., El-Sabrou K. Effect of housing system and rosemary and cinnamon essential oils on layers performance, egg quality, haematological traits, blood chemistry, immunity, and antioxidant. *Animals* 2020; 10(2): 245.
- Ahmad MM., Froning G., Mather F., Bashford L. Relationships of egg specific gravity and shell thickness to quasi-static compression tests. *Poultry Science* 1976; 55(4): 1282-1289.
- Akarca G., Istek Ö., Tomar O. The effect of resin coating on the quality characteristics of chicken eggs during storage. *Journal of Food Science* 2021; 86(4): 1243-1257.
- Akpınar GC., Canogullari S., Baylan M., Alasahan S., Aygun A. The use of propolis extract for the storage of quail eggs. *Journal of Applied Poultry Research* 2015; 24(4): 427-435.

- Aktan S., Kampus D. Effects of age and storage duration on relationships among albumen quality traits and egg weight in Japanese quails. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2011; 10 (Supplement): 3340 - 3344.
- Akter Y., Kasim A., Omar H., Sazili AQ. Effect of storage time and temperature on the quality characteristics of chicken eggs. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2014; 12(3&4): 87-92.
- Akyurek H., Okur AA. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2009; 8(10): 1953-1958.
- Altan A., Bayraktar H. Kümesler ve donanımları. In: Türkoğlu M, Sarıca M, (eds). *Tavukçuluk Bilimi: Yetiştirme Besleme Hastalıkları*. Ankara: Bey Ofset 2014; 207-261.
- Anonim. Yumurtacı tavukların korunması ile ilgili asgari standartlara ilişkin yonetmelik. Ankara: Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı; 2014. 29183.
- Avan T., Alişarlı M. Muhafaza şartlarının yumurtanın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2002; 13: 98-107.
- Aygun A. The relationship between eggshell colour and egg quality traits in table eggs. *Indian Journal of Animal Research* 2014; 48(3): 290-294.
- Aygun A., Narinc D. Effect of storage temperature on egg quality traits in table eggs. Paper presented at: International Conference on Advances in Natural and Applied Sciences; April 21-23 2016; pp: 1-4, Antalya, Turkey.
- Aygun A., Sert D. Effects of vacuum packing on eggshell microbial activity and egg quality in table eggs under different storage temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2013; 93(7): 1626-1632.
- Aygun A., Yetisir R. The relationships among egg quality characteristic of different hybrid layers to forced molting programs with and without feed withdrawal. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2010; 9(4): 710-715.
- Ayoola MO., Olufemi AM., Foluke A., Oguntunji A. Relationship of temperature and length of storage on pH of internal contents of chicken table egg in humid tropics. *Biotechnology in Animal Husbandry* 2016; 32(3): 285-296.
- Batkowska J., Brodacki A., Gryzińska M. Effects of laying hen husbandry system and storage on egg quality. *European Poultry Science* 2016; 80: 1-10.
- Baylan M., Canogullari S., Ayasan T., Copur G. Effects of dietary selenium source, storage time, and temperature on the quality of quail eggs. *Biological Trace Element Research* 2011; 143(2): 957-964.
- Bozkurt Z. Avrupa Birliği'nde et i ve yumurtacı tavukların refah standartları için yasal gereklilikler ve Türkiye'nin uyumu. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi* 2017; 6(2): 23-35.

- Chung SH., Lee KW. Effect of hen age, storage duration and temperature on egg quality in laying hens. *International Journal of Poultry Science* 2014; 13(11): 634.
- Dohnal J., Pospiech M., Kielczewski K., Kowalska H. Studies on egg specific gravity in flocks of white and brown egg layers. *Zeszyty Naukowe Drobiarstwa* 1988; 5: 67-81.
- Fidan ED. Avrupa Birliği kriterlerine uyum sürecinde Türkiye’de yumurtacı tavuk refahına yönelik mevzuatlara genel bir bakış. *Animal Health Production and Hygiene* 2018; 7(1): 569-575.
- Funk E. The relation of the yolk index determined in natural position to the yolk index as determined after separating the yolk from the albumen. *Poultry Science* 1948; 27(3): 367-367.
- Grover R., Anderson D., Damon Jr R. The correlation between egg shell color and specific gravity as a measure of shell strength. *Poultry Science* 1980; 59(6): 1335-1336.
- Güler G., Ayşe Ş., Turgud FK., Tahtabiçen E., Aylin A., Samli HE. Serbest gezen tavuklardan elde edilen yumurtaların propolis ekstraktı ile kaplanmasının raf ömrü ve kalite parametrelerine etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 19(1): 89-100.
- Harput FN., Aygün A. Otomatik sistem ve el ile toplanan tavuk yumurtalarının farklı sıcaklıklarda depolanmanın yumurta kabuk mikrobiyal yükü ve yumurta kalitesi üzerine etkisi. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi* 2021; 10(1): 37-48.
- Haugh RR. The haugh unit for measuring egg quality. *The US Egg Poultry Magazine* 1937; 43: 522-573.
- Jo C., Ahn D., Liu X., Kim K., Nam KC. Effects of chitosan coating and storage with dry ice on the freshness and quality of eggs. *Poultry Science* 2011; 90(2): 467-472.
- Jones D., Karcher D., Abdo Z. Effect of a commercial housing system on egg quality during extended storage. *Poultry Science* 2014; 93(5): 1282-1288.
- Jones D., Ward G., Regmi P., Karcher D. Impact of egg handling and conditions during extended storage on egg quality. *Poultry Science* 2018; 97(2): 716-723.
- Kraus A., Zita L., Krunt O. The effect of different housing system on quality parameters of eggs in relationship to the age in brown egg-laying hens. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 2019; 25: 1246-1253.
- Lewko L., Gornowicz E. Effect of housing system on egg quality in laying hens. *Annals of Animal Science* 2011; 11(4): 607-611.
- Liu YC., Chen TH., Wu YC., Lee YC., Tan FJ. Effects of egg washing and storage temperature on the quality of eggshell cuticle and eggs. *Food Chemistry* 2016; 211: 687-693.
- Martínez Y., Soliz ND., Bejarano M., Paz P., Valdivie M. Effect of storage duration and temperature on daily changes in external and internal egg quality of eggs from Dekalb White® laying hens. *European Poultry Science* 2021; 85.

- Miles R., Harms R. Relationship between egg specific gravity and plasma phosphorus from hens fed different dietary calcium, phosphorus, and sodium levels. *Poultry Science* 1982; 61(1): 175-177.
- Nordstrom JO., Ousterhout L. Estimation of shell weight and shell thickness from egg specific gravity and egg weight. *Poultry Science* 1982; 61(10): 1991-1995.
- Oliveira CH., Boiago MM., Guaragni A. Effects of heat treatments and edible shell coatings on egg quality after storage at room temperature. *Food Science and Technology* 2020; 40: 344-348.
- Petek M., Alpay F., Dikmen S., Çavuşoğlu E. Effects of shrink film, extended storage and temperature on external and internal table egg quality. *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine* 2014; 33.
- Pujols KD., Osorio L., Carrillo EP., Wardy W., Torrico DD., No HK., Corredor JAH., Prinyawiwatkul W. Comparing effects of α -vs. β -chitosan coating and emulsion coatings on egg quality during room temperature storage. *International Journal of Food Science & Technology* 2014; 49(5): 1383-1390.
- Quan TH., Benjakul S. Quality, protease inhibitor and gelling property of duck egg albumen as affected by storage conditions. *Journal of Food Science and Technology* 2018; 55(2): 513-522.
- Quan TH., Benjakul S. Duck egg albumen: physicochemical and functional properties as affected by storage and processing. *Journal of Food Science and Technology* 2019; 56(3): 1104-1115.
- Rodríguez-Navarro AB., Domínguez-Gasca N., Muñoz A., Ortega-Huertas M. Change in the chicken eggshell cuticle with hen age and egg freshness. *Poultry Science* 2013; 92(11): 3026-3035.
- Samli H., Agma A., Senkoylu N. Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *Journal of Applied Poultry Research* 2005; 14(3): 548-553.
- Sarıca M., Erensayın C. Tavukçuluk ürünleri. In: Türkoğlu M, Sarıca M, (eds). *Tavukçuluk Bilimi Yetiştirme, Besleme ve Hastalıklar*. Vol 4: Bey Ofset Matbaacılık 2014; 110-139.
- Scott T., Silversides FG. The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poultry Science* 2000; 79(12): 1725-1729.
- Sharma MK., McDaniel CD., Kiess AS., Loar II RE., Adhikari P. Effect of housing environment and hen strain on egg production and egg quality as well as cloacal and eggshell microbiology in laying hens. *Poultry Science* 2022; 101(2): 101595.
- Silversides F., Budgell K. The relationships among measures of egg albumen height, pH, and whipping volume. *Poultry Science* 2004; 83(10): 1619-1623.
- Simons PCM. *Ultrastructure of the hen eggshell and its physiological interpretation*. The Netherlands: Wageningen University and Research; 1971.

- Strixner T., Kulozik U. Egg proteins. In: Philips GO, Williams PA, (eds). Handbook of food proteins: Woodhead Publishing, Elsevier 2011; 150-209.
- Suk Y., Kwon J. Effects of egg storage, storage temperature, and insemination of hens on egg quality. Korean Journal of Poultry Science 2004; 31(4): 203-212.
- Syafiah HN., Purwantini D., Santosa RSS. The effect of tegal and Magelang ducks cross types on production, shell thickness and egg specific gravity. ANGON: Journal of Animal Science and Technology 2021; 3(1): 55-65.
- Vlčková J., Tůmová E., Míková K., Englmaierová M., Okrouhlá M., Chodová D. Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens. Poultry Science 2019; 98(11): 6187-6193.
- Wells R. Egg shell strength: 2. The relationship between egg specific gravity and egg shell deformation and their reliability as indicators of shell strength. British Poultry Science 1967; 8(3): 193-199.
- Wells R. A study of the hen's egg. Paper presented at: British Egg Marketing Board Symposium, Edinburgh; 1968; 207-249.

Silifke-Göksu Deltasında YüzeY Suyu-Yer Altı Suyu İlişkisinin Modellenmesi

Mehmet Eyyüp KAVŞUT^{1*}, Recep YURTAL²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-1940-9610>

²<https://orcid.org/0000-0003-3175-6567>

*Sorumlu yazar: mehmeteyyupkavsut@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.03.2022

Kabul tarihi:20.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Göksu Deltası
GSFLOW
PRMS
MODFLOW-2005

ÖZ

YüzeY suyu ile yer altı suyu arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır ve bu ilişkinin modellenmesi pek de kolay olmayan bir süreçtir. Bu çalışmada, yüzeY suyu-yer altı suyu arasındaki ilişki Mersin İli Silifke İlçesine bağılı Göksu Deltası için modellenmiştir. Bunun için, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumunun (USGS) geliştirdiğı PRMS (Yağış-Akış Modelleme Sistemi) ile MODFLOW-2005'in (Modüler Yer Altı Suyu Akım Modeli) entegrasyonu ile oluşturulan GSFLOW (Yer Altı Suyu-YüzeY Suyu Akım Modeli) kullanılmıştır. Modelin kalibrasyonu yapılırken öncelikle PRMS ve MODFLOW-2005 kalibre edilmiş, daha sonra GSFLOW'un kalibrasyonu yapılmıştır. MODFLOW-2005'in kalibrasyonu, arazide ölçülen yer altı su seviyeleri ile modelleme sonucu elde edilen seviyeler karşılaştırılarak yapılmıştır. Bunun için bir yıl boyunca, sahada tespit edilen on sekiz kuyuda aylık olarak statik yer altı su seviyeleri ölçülmüştür. Yatay ve düşey hidrolik iletkenlikler kalibrasyon parametresi olarak kullanılmıştır. Çalışma ile Göksu Deltasının yüzeY suları ile yer altı suyu arasında daimî ve değışken bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

Modeling of Surface Water-Ground Water Relationship in Silifke-Göksu Deltaic Plane

Research Article

Article History:

Received: 07.03.2022

Accepted: 20.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Goksu Deltaic Plane
GSFLOW
PRMS
MODFLOW-2005

ABSTRACT

The relationship between surface water and groundwater is quite complex and modeling this relationship is not an easy process. In this study, the relationship between surface water and groundwater was modeled for the Göksu Deltaic Plain. For this purpose, the Groundwater-Surface Water Flow Model (GSFLOW), which was created by the integration of the Precipitation-Flow Modeling System (PRMS) and the Modular Groundwater Flow Model (MODFLOW-2005) developed by the United States Geological Survey (USGS), was used. While calibrating the model, firstly PRMS and MODFLOW-2005 were calibrated, and then GSFLOW was calibrated. The calibration of MODFLOW-2005 was made by comparing groundwater levels measured in the field with the levels obtained by the model. For this, static groundwater levels were measured monthly for one year in eighteen wells determined in the field. Horizontal and vertical hydraulic conductivities were used as calibration parameters. As a result of the study, it has been concluded that there is a constant and variable relationship between surface water and groundwater.

To Cite: Kavşut ME., Yurtal R. Silifke-Göksu Deltasında YüzeY Suyu-Yer Altı Suyu İlişkisinin Modellenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1567-1578.

1. Giriş

Yüze ve yer altı suları karşılıklı olarak daimî bir ilişki halindedir. Bu ilişki doğada farklı biçimlerde oluşabilmektedir. Örneğin; yer altı sularının yüze sularını su ve çözünmüş maddelerle desteklemesine sıkça rastlanırken, yüze sularının yer altı suyunun temel kaynaklarından biri olduğu ve kalitesinde önemli değişikliklere yol açtığı da bir gerçektir. Dolayısıyla, etkili arazi ve su yönetimi politikaları için yüze suyu-yer altı suyu ilişkisinin doğru ve açık bir biçimde belirlenmesi gerekir.

Yüze suyu-yer altı suyu ilişkisi kompleks bir yapıdadır ve bu ilişkiyi sayısal olarak modelleyebilmek zorlu bir süreçtir. Dolayısıyla iki sistem çoğunlukla birbirinden bağımsız çalışılmış ve hidrolojik modeller yüze veya yer altı sularından sadece birine odaklanarak geliştirilmiştir. Ancak 2000'lerin başından itibaren yüze suyu-yer altı suyu ilişkisini daha gerçekçi bir şekilde belirleyebilmek için iki sistemi eş zamanlı olarak modelleyebilen yazılımlar geliştirilmeye başlanmıştır (VanderKwaak ve Loague, 2001; Panday ve Huyakorn, 2004; Kollet ve Maxwell, 2006; Jones ve ark., 2008).

ABD Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından geliştirilen GSFLOW (Markstrom ve ark., 2008), Yağış-Akış Modelleme Sistemi PRMS (Leavesley ve ark., 1983) ile Modüler Yer Altı Suyu Akım Modeli MODFLOW-2005'in (Harbaugh, 2005) entegrasyonu ile oluşturulan bir yer altı suyu-yüze suyu akım modelidir.

Bu çalışmada nehir, sulak alan, lagün, sulama ve drenaj kanalları gibi yüze sularını ihtiva eden Göksu Deltasında, yüze suları ile yer altı suyu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu ilişkiyi modellemek için çalışma alanının iklim koşulları, hidrolojik durumu, arazi kullanımı ve jeolojisi gibi havzaya has bazı özellikler dikkate alınarak GSFLOW akım modeli oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metot

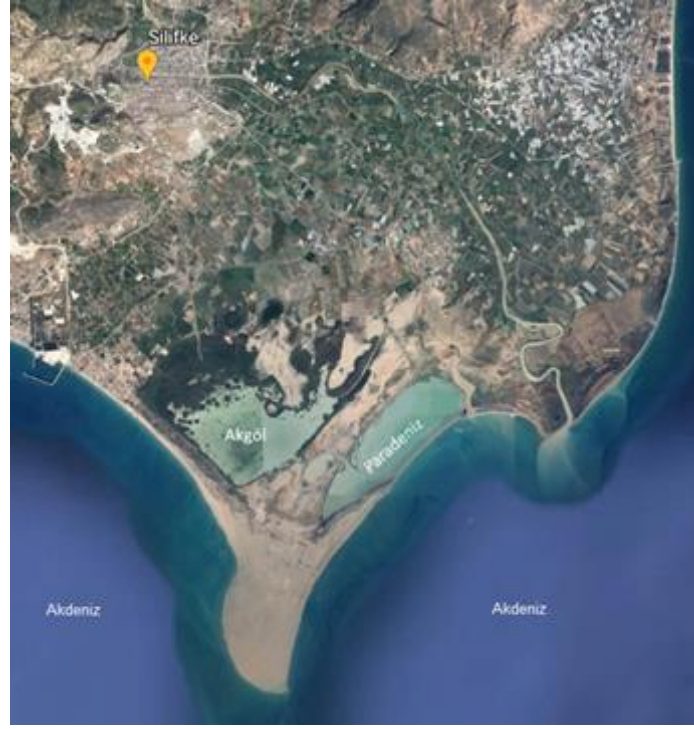
2.1. Çalışma Alanı

Göksu Deltası Türkiye'nin Akdeniz ile bulunduğu güney kenarında, Mersin İline bağlı Silifke İlçesinde bulunan, Silifke-Taşucu arasında Göksu Nehrinin Akdeniz'e açıldığı bölgede, alüvyonca oldukça zengin bir kıyı ovasıdır (Şekil 1). Nehrin sağ sahilinde iki lagün gölü Akgöl ve Paradeniz yer almaktadır. 155 km² toplam alana sahip Göksu Deltası'nın 138 km²'lik kısmı kara yüzeyi, 17,3 km²'lik kısmı ise su yüzeyinden oluşmaktadır. Rakım delta boyunca 0 ile 5 m arasında değişmektedir (ÖÇK, 2009).

Deltanın merkezinde ve kuzey bölümünde Devlet Su İşlerine bağlı sulama ve drenaj kanalları yer almaktadır. Göksu Nehrinden sulama için alınan suların bir kısmı drenaj kanallarıyla deltanın güneyindeki Akgöl ve Paradeniz'e iletilmektedir. Akgöl'ün yüze alanı yaklaşık 800 hektar olup, çoğunlukla tatlı ile hafif tuzlu su arasında bir kaliteye sahiptir. Paradeniz'in yüze alanı ise 602 hektar olup, su kalitesi genellikle hafif tuzlu ve tuzlu arasındadır (Haar ve Heunks, 1992). Bu iki lagün gölü yapay bir kanal vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır.

Akgöl'e iletilen drenaj suyu, sulama sisteminin iki kanalından ve bazı küçük kanallardan girerek oradan Paradeniz'e doğru akar. Haziran-Ekim dönemi sulamanın en fazla yapıldığı zaman periyodu olma-

sından dolayı Akgöl'deki su da en üst seviyelerine çıkmaktadır. Akgöl ve Paradeniz'in su bütçesi (Manley, 1997) tarafından hesaplanmıştır (Tablo 1).



Şekil 1. Göksu Deltası. Google Earth'ten değiştirilerek alınmıştır (URL-1, 2022)

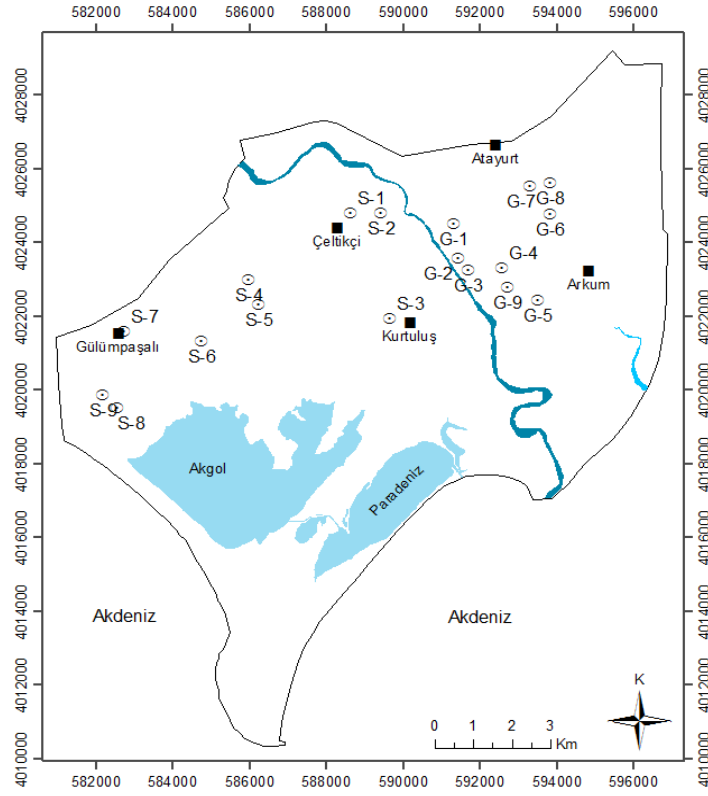
Tablo 1'de görüldüğü üzere Akgöl'ün birincil su kaynağı drenaj kanallarıdır. Su çıkışına sebep olan en önemli etkenin buharlaşma olduğu görülmektedir. Bununla beraber, yaz mevsiminde buharlaşmanın artmasıyla su seviyesindeki düşüş Paradeniz'den de su girişine neden olmaktadır.

Tablo 1. Akgöl ve Paradeniz su bütçeleri (Manley, 1997)

Akgöl		Paradeniz	
Giren Sular	%	Giren Sular	%
Yağmur	18	Yağmur	12
Drenaj kanallarından gelen su	82	Drenaj kanallarından gelen su	38
Yer altı suyu	0	Yer altı suyu	0
		Akgöl'den giriş	50
Çıkan Sular	%	Çıkan Sular	%
Buharlaşma	71	Buharlaşma	41
Paradeniz'e akış	29	Akdeniz'e akış	59

2.2. Yer Altı Suyu Gözlem Kuyuları

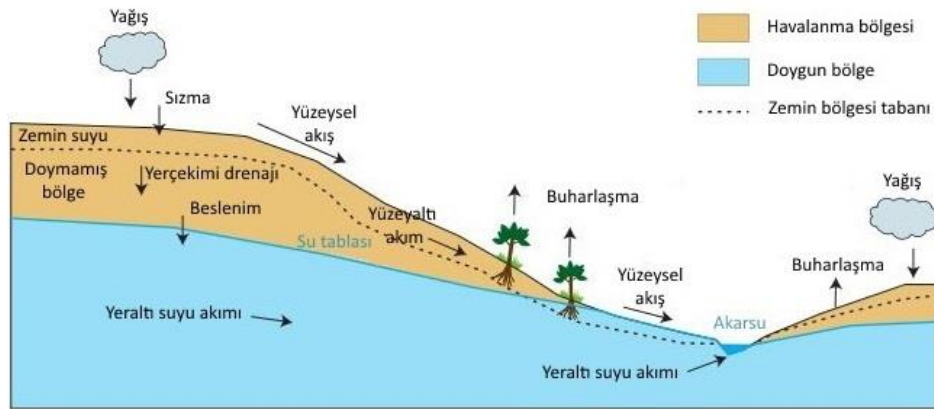
Kalibrasyon periyodunda kullanmak üzere, sahada ulaşılabirlik yönünden uygun olan 18 adet gözlem kuyusunda yer altı su seviyeleri ölçülmüştür. Kuyuların dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Ölçümler 2012 su yılı boyunca her ayın son haftasında yapılmıştır.



Şekil 2. Gözlem kuyularının arazideki dağılımı

2.3. GSFLOW Akım Modeli

GSFLOW, Şekil 3'te şematik olarak dağılımı gösterilen yüzey ve yer altı sularını eş zamanlı olarak modelleyebilen birleşik bir akım modelidir. Modelin parametreleri, PRMS ve MODFLOW-2005'in birbiriyle entegre olabilmesi için bu iki modeldeki parametrelerin değiştirilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 3. Yüzeysel ve yer altı sularının dağılımı (Markstrom ve ark., 2008'den uyarlanmıştır)

Kurulan modelde girdi verisi olarak, 1970-2013 yıllarına ait günlük toplam yağış, en yüksek ve en düşük sıcaklıklar ile toplam buharlaşma gibi iklim parametreleri, günlük ortalama akımlar, mekân verisi olarak sayısal yükseklik modeli (SYM), toprak litolojisi ve arazi kullanım haritaları ile 2012 su yılına ait statik yer altı su seviyeleri kullanılmıştır.

2.4. Modelin Kalibrasyonu

GSFLOW kalibre edilirken, önce PRMS ve MODFLOW-2005 akım modelleri bağımsız olarak kalibre edilmiş, sonrasında GSFLOW'un kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon işleminin ardından modelin tahmin kabiliyetini göstermek ve uygulanabilir olduğunu teyit etmek için doğrulama işlemi yapılmıştır.

PRMS, ölçülen verilerin birbiriyle çakışmayan üç farklı dönemi için modelin hazırlık, kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında kullanılmak üzere ayırık örnek yaklaşımıyla (split sample approach) kalibre edilmiştir. 1971-1973 su yılları arasındaki veriler modele ait bazı parametrelerin iyileştirilmesi, 1974-1997 su yılları arasındaki veriler kalibrasyon için kullanılmıştır. Doğrulama için 1998-2013 su yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Kalibrasyon, modellenen ve arazide ölçülen akımlar arasında kabul edilebilir bir yakınsamaya ulaşana kadar akımı etkileyen bazı parametrelerin ayarlanmasıyla yapılmıştır.

Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE), ölçülen ve modellenen hidrograflar arasındaki uyumu değerlendirmek için kullanılmıştır. Hidrolojik modellerin tahmin kabiliyetini ölçmek için kullanılan NSE katsayısı (Nash ve Sutcliffe, 1970) aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o_i} - Q_{s_i})^2}{(Q_{o_i} - \overline{Q_o})^2} \quad (1)$$

Burada n toplam gözlem sayısını temsil eder. Q_{o_i} gözlenmiş i 'inci akım, Q_{s_i} modellenen i 'inci akım, $\overline{Q_o}$ ise gözlenen akımların ortalama değeridir.

NSE katsayısı $-\infty$ ile 1 arasında değer alabilir. Sıfırdan küçük olması gözlenen ortalama akımların model ile elde edilenlerden daha iyi tahmin edici olduğunu ifade eder. Bire eşit olması, model ile elde edilen ve gözlenen veriler arasında çok iyi bir uyum olduğu anlamına gelir. Sıfır ile bir arasında olması model sonuçlarının makul bir seviyede olduğunu göstermektedir (Krause ve ark., 2005).

MODFLOW-2005'in kalibrasyonu, model ile hesaplanan yer altı su seviyeleri ile arazide ölçülen seviyelerin karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Bu seviyeler arasındaki farkı en aza indirmek kalibrasyonun esas amacını oluşturmaktadır. Yatay ve düşey hidrolik iletkenlikler kalibrasyon parametresi olarak kullanılmıştır. Modelin performansını tespit etmek için korelasyon katsayısı, NSE katsayısı, hata karelerinin ortalamasının karekökü (HKOK) ve ortalama hata (OH) gibi istatistik ölçütler kullanılmıştır.

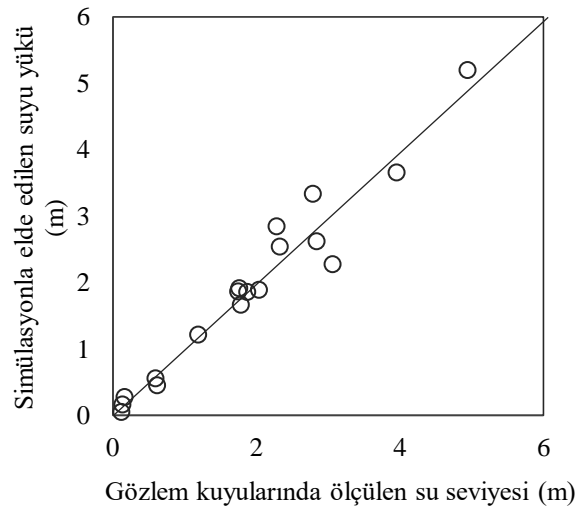
GSFLOW, PRMS ve MODFLOW-2005'te kalibre edilmiş çoğu parametre değiştirilmeksizin akımı etkileyen bazı parametrelerin izin verilen aralıklarda değiştirilmesiyle kalibre edilmiştir.

Doğrulama işlemi 1998-2013 su yıllarını kapsayan dönemde, modelin tahmin gücünü belirlemek için yapılmıştır. Bu aşamada, bağımsız veriler kullanarak model parametrelerinde değişikliğe gitmeden sadece kalibre edilmiş model çalıştırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Kalibrasyon Sonuçları

PRMS modeli için kalibrasyon periyodunda elde edilen NSE katsayısı 0,82, doğrulama periyodunda ise 0,77'dir. 12 ay boyunca kuyularda yapılan yer altı su seviyesi ölçümlerinde, seviyelerin 0,12 m ile 4,95 m arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Kalibre edilen MODFLOW-2005, 0,95 korelasyon ile ölçülen ve model ile elde edilen seviyelerin uyumlu olduğunu göstermiştir (Şekil 4). Model tarafından hesaplanan yer altı su seviyeleri ile arazide ölçülen seviyelerin 0,79 m ile -0,54 m arasında değiştiği gözlemlenmiştir. OH 0,001 m, HKOK 0,31 m, NSE katsayısı ise 0,95 olarak elde edilmiştir.



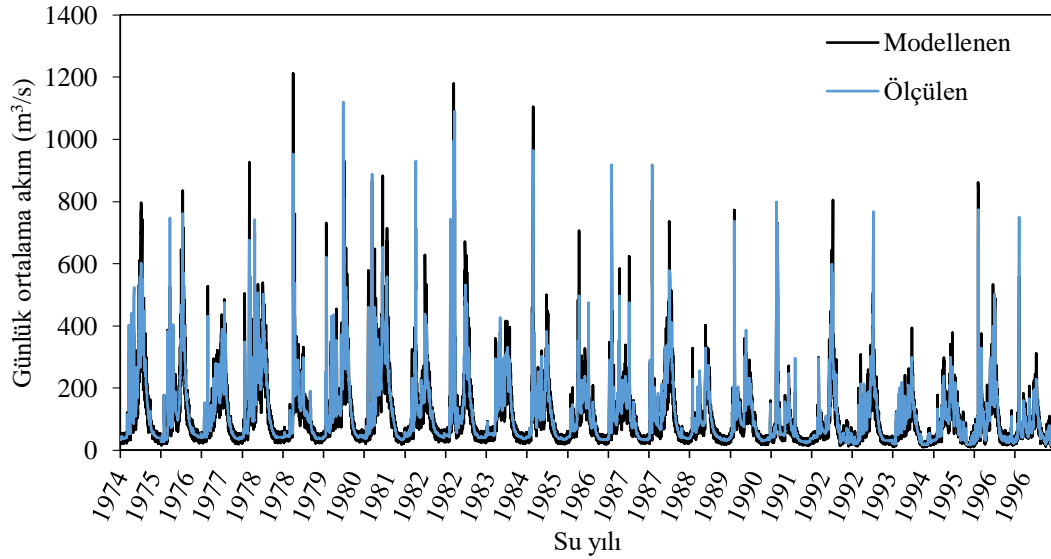
Şekil 4. Ölçülen ve modellenen su seviyelerine ait saçılma diyagramı

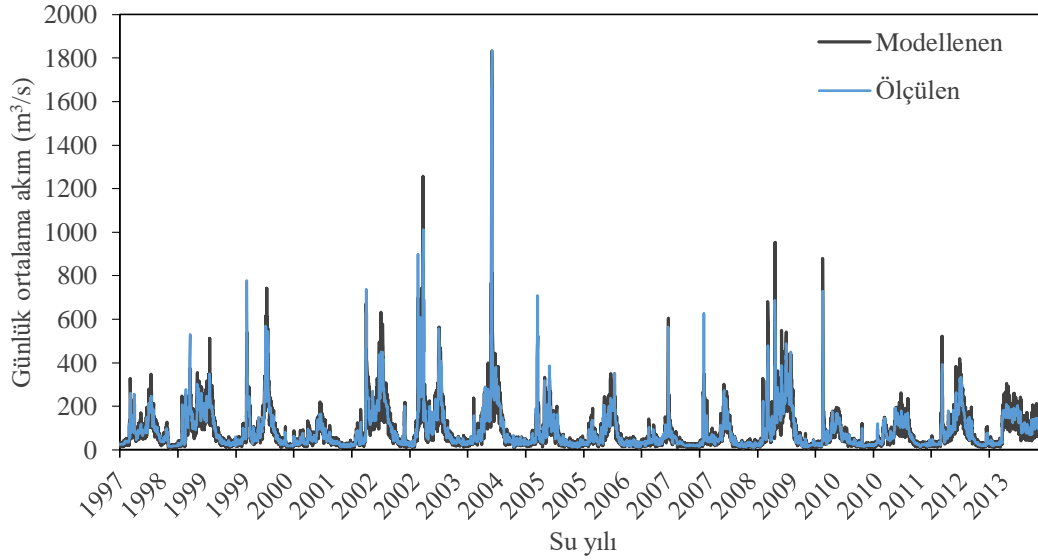
Kalibrasyon işlemlerine Çobaner (2009) tarafından bölgede yapılan çalışmalar sonucu elde edilen hidrolik iletkenlikler kullanılarak başlanmıştır. 20 tabakada modellenen akifer, belirlenen farklı hidrolik iletkenlik bölgelerine göre kalibre edilmiş, buna göre hidrolik iletkenlikler elde edilmiştir (Tablo 2).

Şekil 5 ve Şekil 6 sırasıyla GSFLOW modelinin kalibrasyon ve doğrulama periyotları için ölçülen ve modellenen günlük ortalama akımları göstermektedir. Kalibrasyon periyodunda NSE katsayısı 0,88, doğrulama periyodunda 0,84 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kalibre edilmiş hidrolik iletkenlikler

Tabaka	Bölge	Kalibre edilmiş değerler	
		Kx=Ky (m/gün)	Kz (m/gün)
1,4,6,7	1	100	0,035
	2	88	0,027
	3	91	0,006
	4	145	0,002
2,3,5	1	100	0,035
	2	88	0,027
	3	91	0,006
	4	145	0,002
	14	0,0002	0,00002
8	1	100	0,035
	5	85	0,018
	6	82	0,006
	7	63	0,001
	9	0,1	0,0001
9-20	1	100	0,035
	5	85	0,018
	6	82	0,006
	7	63	0,001

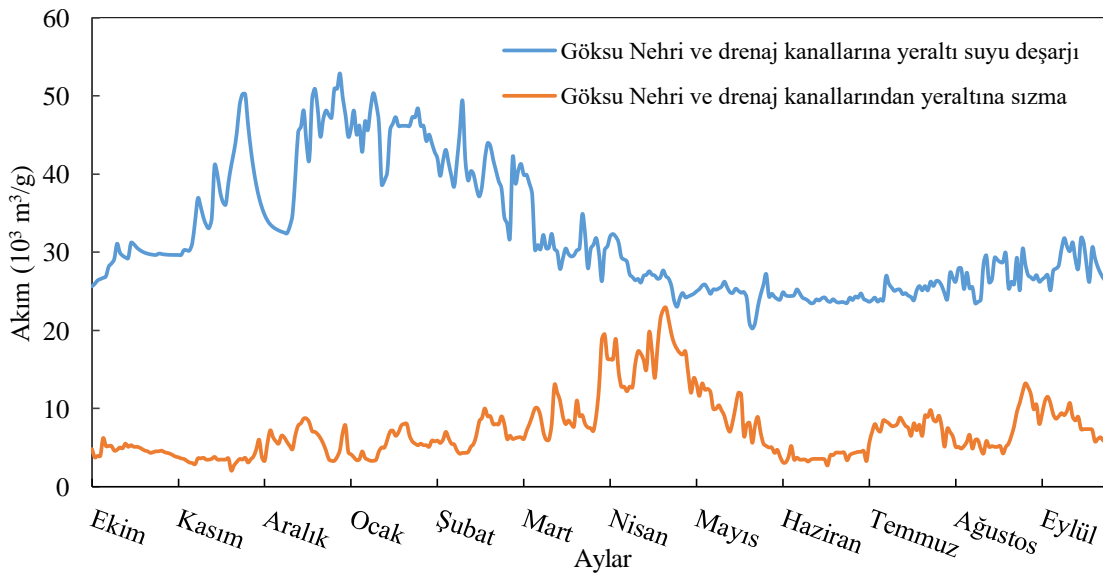
**Şekil 5.** Modellenen ve ölçülen günlük ortalama akımlar (GSFLOW kalibrasyon periyodu)



Şekil 6. Modellenen ve ölçülen günlük ortalama akımlar (GSFLOW doğrulama periyodu)

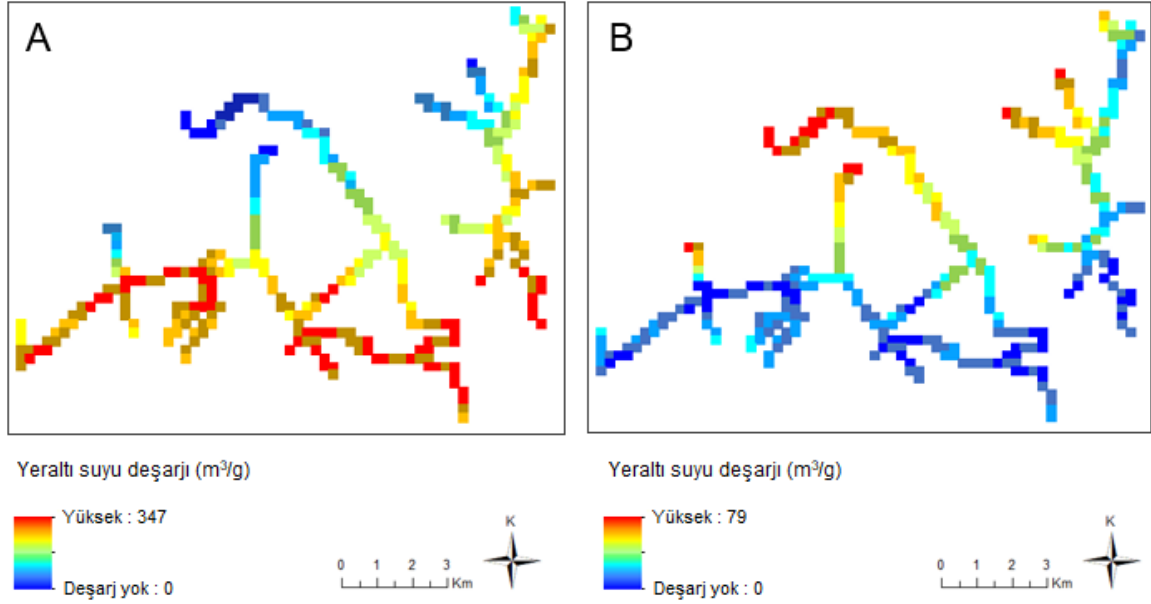
3.2. Yer Altı Suyu-Göksu Nehri ve Drenaj Kanalları İlişkisi

Göksu Nehri ile drenaj kanalları mevsimsel farklılıklar olmak üzere yer altı suyunu beslemektedir. Benzer şekilde yer altı suyu deltanın çeşitli bölgelerinde ve farklı oranlarda nehri ve kanalları beslemektedir. Yağışın en düşük olduğu 1991 su yılı için hesaplanan akımlar Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Göksu Nehri ve drenaj kanallarına yer altı suyu deşarjı kışın en yüksek seviyelere ulaşırken, yazın en düşük seviyelere inmektedir. Nehir ve kanallardan yer altına sızan su bahar mevsiminde artmıştır. Bunun sebebinin Toroslardan eriyip gelen kar sularının da etkisiyle Göksu Nehri debisindeki artış olduğu düşünülmektedir. Şekil 7’ye göre yer altı suyu deşarjının sızma miktarından yüksek olması, nehir ve kanallar çevresinde yer altı su seviyesinin genellikle nehirdeki su seviyesinin üzerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Göksu Nehri ve drenaj kanalları-yer altı suyu ilişkisi (1991 su yılı)

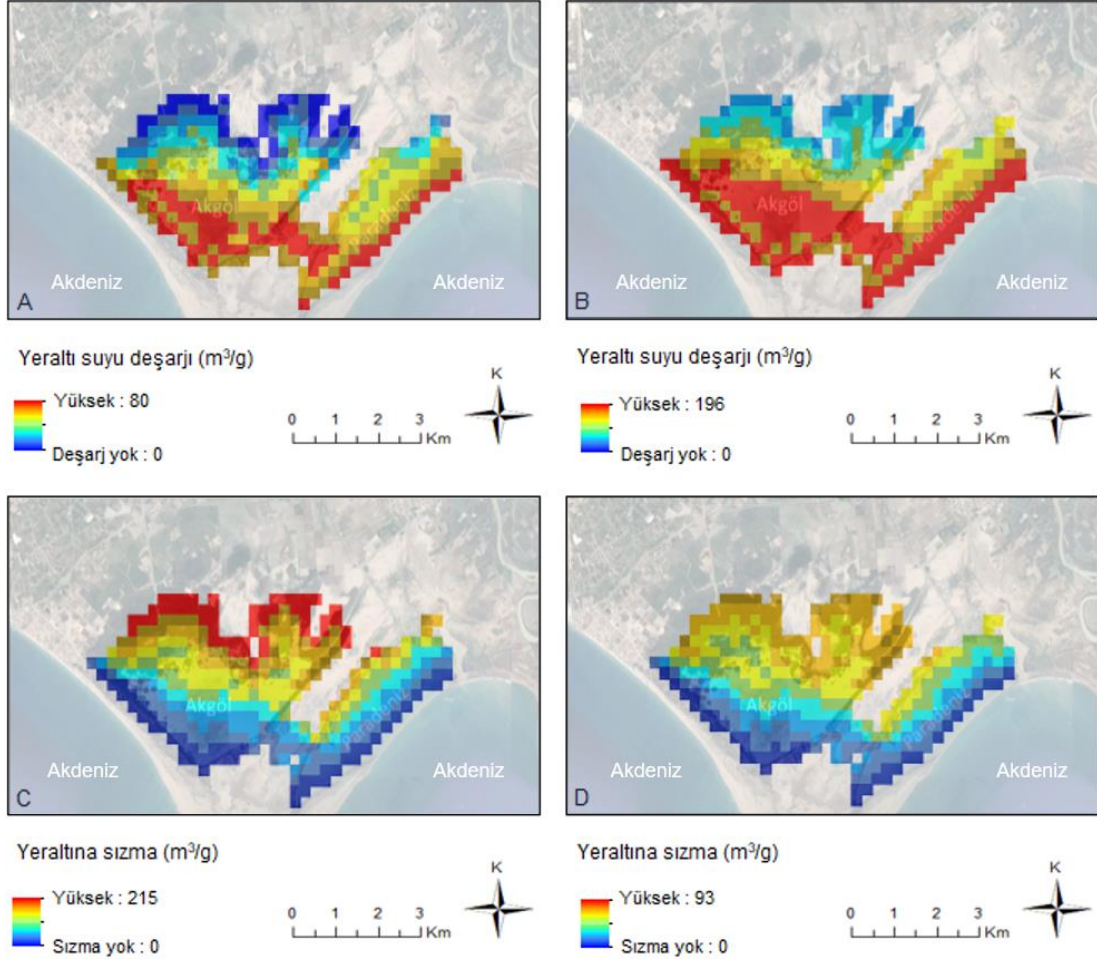
Modelleme sonucunda yer altı suyu ile nehir-kanal ilişkisinin delta boyunca değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. 1991 yılı temmuz ayına ait akımlar Şekil 8’de gösterilmiştir. Deltanın neredeyse tamamında farklı oranlarda etkileşim söz konusudur. Göksu Nehri ve drenaj kanallarını besleyen yer altı suyunun deltanın güney ve güney batısında fazla, kuzey kesimlerinde ise daha az olduğu görülmektedir (Şekil 8A). Nehir ve kanallardan yer altına sızan su deltanın kuzeyine doğru artmakta, güney ve doğu kesimlerinde ise azalmaktadır (Şekil 8B).



Şekil 8. Nehir ve kanallar boyunca; yer altı suyu deşarjı (A), yer altına sızma (B)

3.3. Lagün-Yer Altı Suyu İlişkisi

Yer altı suyu ile Akgöl ve Paradeniz arasında tüm yıl süren değişken bir etkileşim söz konusudur. İlkbaharda sulama kanallarına bırakılan suyun artmasıyla, birincil kaynağı drenaj kanalları olan Akgöl ve Paradeniz’deki su seviyesi de yükselmektedir. Dolayısıyla lagünlerden yer altına sızan su miktarı da artmaktadır (Şekil 9C). Kış mevsiminde ise lagünlerdeki suyun azalması ve yer altı su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak yer altına sızan su azalmaktadır (Şekil 9D). Yaz aylarında hem mevsimsel hem de kaçak kullanımların etkisiyle yer altı su seviyesi düşmektedir. Bununla birlikte, yaz aylarının lagünlerdeki suyun en fazla olduğu dönem olmasından dolayı yer altı suyu deşarjı (Şekil 9A) kış mevsimine oranla çok daha düşüktür (Şekil 9B).



Şekil 9. Lagün-yer altı suyu ilişkisi; (A ve C Temmuz 1991), (B ve D Ocak 1991).

4. Sonuç

Yer altı suyu-yer üstü suyu etkileşimini daha güvenilir bir şekilde tespit edebilmek için son çeyrek yüzyılda eş zamanlı modellemeye imkân tanıyan uygulamalar geliştirilmiştir. Bu çalışmada USGS tarafından geliştirilen GSFLOW birleşik akım modeli, içerisinde çeşitli yer üstü sularını barındıran Göksu Deltasında, yer altı suyu-yer üstü suyu etkileşiminin araştırılması amacıyla kullanılmıştır.

Modelin kalibrasyon sonuçlarına bakıldığında hem PRMS hem de GSFLOW'un, kalibrasyon periyodunda doğrulama periyoduna göre daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır. MODFLOW-2005 modelinde, hesaplanan yer altı su seviyeleri ile arazide ölçülen seviyeler arasında 1 metrenin altında bir fark olması, sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir.

Göksu Nehri ile yer altı suyu ilişkisine bakıldığında, yılın farklı dönemlerinde farklı miktarlarda olmak üzere sürekli bir etkileşim olduğu anlaşılmaktadır. Çoğunlukla deltanın kuzeyinde Göksu Nehri ve drenaj kanallarından yer altı suyuna doğru bir hareket görülmekte, güney kesimlerinde ise yer altı suyunun nehir ve kanallarını beslediği anlaşılmaktadır.

Akgöl ve Paradeniz Lagünlerinde de Göksu Nehri-yer altı suyu ilişkisine benzer şekilde lagünler ile yer altı suyu arasında sürekli ve dinamik bir etkileşim olduğu gözlenmiştir. Yazın sulama kanallarına bırakılan suyun artmasıyla su seviyeleri yükselen lagünler özellikle kuzey kesimlerinde yer altı suyunu

beslemekte, kışın ise orta ve güney kesimlerinde daha yoğun olmakla beraber benzer oranlarda yer altı suyundan beslenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmayı MMF2012D11 proje numarası ile destekleyen Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Çobaner M. Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin üç boyutlu simülasyonu: Göksu Deltası örneği. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 2009.
- Haar BLH., Heunks E. Use it or loose it: A hydrological inventorisation of the Goksu Delta, Turkey. Interfaculty of Environmental Studies, State University of Utrecht, 1992.
- Harbaugh AW. MODFLOW-2005, The U.S. geological survey modular ground-water model-the ground-water flow process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 2005; 6-A16.
- Jones JP., Sudicky EA., McLaren RG. Application of a fully-integrated surface-subsurface flow model at the watershed-scale: A case study. Water Resources Research 2008; 44(3): 1-13.
- Kollet SJ., Maxwell RM. Integrated surface-groundwater flow modeling: A freesurface overland flow boundary condition in a parallel groundwater flow model. Advances in Water Resources 2006; 29(7): 945-958.
- Krause P., Boyle DP., Bäse F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences 2005; 5: 89-97.
- Leavesley GH., Lichty RW., Troutman BM., Saindon LG. Precipitation-runoff modeling system: User's manual. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 1983; 83-4238, 207s.
- Manley RE. Interim report on the hydrological study. In: Integrating Development and Conservation in the Goksu Delta. The Society for The Protection of Nature, Istanbul, Turkey, 1997.
- Markstrom SL., Niswonger RG., Regan RS., Prudic DE., Barlow PM. GSFLOW-coupled ground-water and surface-water flow model based on the integration of the precipitation-runoff modeling system (PRMS) and the modular ground-water flow model (MODFLOW-2005). U.S. Geological Survey Techniques and Methods 2008; 6-D1, 240s.

- Nash JE., Sutcliffe JV. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 1970; 10: 282–290.
- ÖÇK. Göksu Deltası özel çevre koruma bölgesi II. dönem yönetim planı. Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, Ankara, 2009.
- Panday S., Huyakorn PS. A fully coupled physically-based spatially-distributed model for evaluating surface/subsurface flow. *Advances in Water Resources* 2004; 27(4): 361-382.
- URL-1. <https://earth.google.com/web/@36.31266946,34.00258652,-8.36955973a,47544.33342779d,35y,0h,0t,0r>
(Erişim tarihi 03.03.2022)
- VanderKwaak JE., Loague K. Hydrologic-response simulations for the R-5 catchment with a comprehensive physics-based model. *Water Resources Research* 2001; 37: 999-1013.

İskenderun Körfezi (Kuzey-Doğu Akdeniz, Türkiye)'nde Dağılım Gösteren İstilacı Deniz Kestanesi *Diadema setosum* (Leske, 1778)'un Boy-Ağırlık İlişkisi

Erkan UĞURLU^{1*}, Önder DUYSAK²

^{1,2}Marine Sciences and Technology Faculty, Iskenderun Technical University, 31200, Iskenderun, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0001-8940-8421>

²<https://orcid.org/0000-0002-7484-3102>

*Corresponding author: erkn.ugurlu@yahoo.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 24.02.2022

Kabul tarihi: 03.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Boy-ağırlık ilişkisi

GSI

Denizkestanesi

Diadema setosum

Derisidikenliler

Bu çalışmada, İskenderun Körfezi kıyılarındaki istilacı *Diadema setosum* türünün (Leske, 1778) boy-ağırlık ilişkisi ve gonadosomatik indeks değeri gibi bazı biyolojik parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, Eylül 2021'de İskenderun'un kayalık sahil kıyılarından toplam 117 örnek toplanmıştır. *D. setosum* türünün test (kabuk) çapı 24,32-81,1 mm arasında ve ortalama 51,8±1,18 mm olduğu belirlenmiştir. Örneklerin toplam ağırlığı 27,14-185,11 g arasında değişmiş olup, ortalama 84,64±2,77 g hesaplanmıştır. *D. setosum* türünün boy-ağırlık ilişkisi $W=0,7917*L^{1,1773}$ olarak tespit edilmiştir. Tür için tahmin edilen regresyon katsayısı (R^2) değeri 0,71'dir. *D. setosum* türünün negatif allometrik bir büyüme gösterdiği belirlenmiştir. Denizkestanesi türünün farklı gonadosomatik indeks (GSI) değerleri GSI1, GSI2 ve GSI3 sırasıyla %3,4±0,04, %8,91±0,09 ve %7,50±0,14 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, İskenderun Körfezi'nde dağılım gösteren istilacı denizkestanesinin (*D. setosum*) boy-ağırlık ilişkisi (LWR), boy-ağırlık frekansı ve farklı gonadosomatik indeks değerlerini kapsayan ilk ayrıntılı çalışmadır.

Length-Weight Relationship of Invasive Sea Urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) from Iskenderun Bay, North-Eastern Mediterranean, Turkey

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 24.02.2022

Accepted: 03.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

LWRs

GSI

Sea urchin

Diadema setosum

Echinodermata

In this study, it was aimed to analyses some growth parameters of the invasive *Diadema setosum* (Leske, 1778) from Iskenderun Bay. For this reason, a total of 117 samples were collected in September 2021 from rocky shores coast of Iskenderun. The tests diameter in *D. setosum* was varied between 24.32 and 81.1 mm with an average of 51.8±1.18 mm in length. The total weight was changed between 27.14 and 185.11 g, and the average total weight was 84.64±2.77 g. The length-weight relationship of *D. setosum* was $W = 0.7917*L^{1.1773}$. The value of regression co-efficient (R^2) estimated for the species was 0.71. It was determined that *D. setosum* showed a negative allometric growth. Gonadosomatic indexes (GSI) was determined as 3.4±0.04%, 8.91±0.09%, and 7.50±0.14%, in GSI1, GSI2, and GSI3, respectively. This study is the first detailed study on the length-weight relationships (LWRs), length-weight frequency and gonadosomatic indexes of the invasive sea urchin (*D. setosum*) from İskenderun Bay, Northeastern Mediterranean.

To Cite: Uğurlu E., Duysak Ö. Length-Weight Relationship of Invasive Sea Urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) from Iskenderun Bay, North-Eastern Mediterranean, Turkey. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1579-1591.

1. Introduction

Sea urchins from the genus *Diadema* are a widespread, abundant and ecologically essential genus of tropical sea urchins that covers nine extant species (Muthiga et al. 2020). *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Diademataidae), is one of the regular echinoids circulated in the Indo-West Pacific Ocean. These species distributed in the Red Sea (Gulf of Suez, Gulf of Aqaba, Northern and Southern Red Sea), and the east coast of Africa to Japan and Australia (Lessios et al., 2001). The species was found for the first time in the Mediterranean Sea along the south-western coast of Turkey in 2006 (Yokes and Galil, 2006). *D. setosum* was also reported from the Hatay, Mediterranean coast of Turkey (Turan et al. 2011), Aegean Sea (Yapici et al. 2014) and Sea of Marmara (Artüz and Artüz, 2019).

This species has long dark spines and five white spots on its aboral side (Lessios et al.2001; Clark, 1925), and orange ring around its anal cone finishes the extraordinary visual elements. *D. setosum* is an omnivorous scrounger and detritus feeder, ingesting free substrate. The invasive sea urchin (*D. setosum*) lives the shallow sublittoral zone (0-20 m), but most frequently the species aggregates around 1-6 m. It desires rocky habitats and biogenic reefs, where it is hiding in crevices and under overhangs-particularly through intense lighting-though, *D. setosum* can also be found on sandy bottoms and seagrass meadows (Muthiga et al. 2020). The species reveals variable reproductive patterns in altered geographic regions, influenced by local ecological factors, like temperature, lunar phases and conspecifics and adults' densities. *D. setosum* is an epibenthic grazer that mainly environmental standing due to the high ranks of grazing gravity it forces on benthic communities. Because of high densities, the species may transform rocky shores to barrens (Muthiga et al. 2020), and strictly bioerode biogenic substrates, particularly coral reefs (Bronstein and Loya, 2014).

Length-weight relationships (LWRs) is very important measurement for many aquatic living organisms around the world (Bolger and Connolly, 1989; Diaz et al., 2000; Demirci et al., 2016; Demirci et al., 2018; Yeşilbudak, 2021). The LWRs of aquatic living organisms are useful in determining weight and biomass and allowing comparison of species life history, morphological features of populations living different areas, length and age assemblies. It is necessary for the management, protection of fisheries and sustainable ecosystem (Goncalves et al., 1997; Koutrakis and Tsikliras, 2003, Oscoz et al., 2005; Demirci et al., 2020). Several studies focused on length-weight and gonadosomatic index were reported in worldwide regarding this species. Also, they were also employed as bioindicator in genetics and pollution studies (Chen et al 2010; Rahman et al. 2012; Dumont et al. 2013; Qiu et al. 2014; Nhan et al. 2020). In Turkey, there were very few studies on biological parameters of sea urchins (Lök and Köse, 2006; Yokes and Galil, 2006; Turan et al. 2011; Küçükdermenci et al. 2015, 2018; Artüz et al. 2019; Karaaslan, 2019; Gezer, 2020) and an article has been found in literature on the length and weight of *D. setosum* species in the Iskenderun Bay (Şimşek et al. 2018). However, this study has reveals only max-min length and weight data are available.

Therefore, this study has given the first information about LWRs of *D. setosum* in the region. In this context, this study on the bioecology of the invasive species *D. setosum*, which is rapidly spreading off the coast of Iskenderun Bay, is intended to determine the state of the bay. Therefore, this study aims to reveal on length-weight relationships (LWRs), size frequency distribution and different gonadosomatic index (GSI) values of the invasive sea urchin in the Iskenderun Bay.

2. Material and Method

2.1. Study Area

The Iskenderun Bay characterized by its rectangular shape is located in the north-eastern corner of the eastern Mediterranean. The gulf is 2275 km², and ~65 km long, 35 km wide (Can et al. 2006; Demirhan et al. 2020). The average depth of the gulf is 70m, and it is one of the areas with a very wide continental shelf in the eastern Mediterranean Sea (Avşar, 1999). The gulf shows high productivity caused by local wind effects and movements such as upwelling and rich terrestrial nutrient inputs. Surface water temperature ranges from 16°C to 33°C, and salinity between 37‰ and 40‰ (Polat and Piner, 2002; Polat, 2009).

The Iskenderun Bay is a very important fishing area in the north-eastern Mediterranean. Sampling was conducted on the rocky shores of Iskenderun fishing port (n=117) in September 2021 (Figure 1). In this study process, the seawater of the Iskenderun Fishing Port region is a temperature of 28.4 ° C, salinity of 37.21 ‰, dissolved oxygen of 6.3 ppm and pH of 8.16.

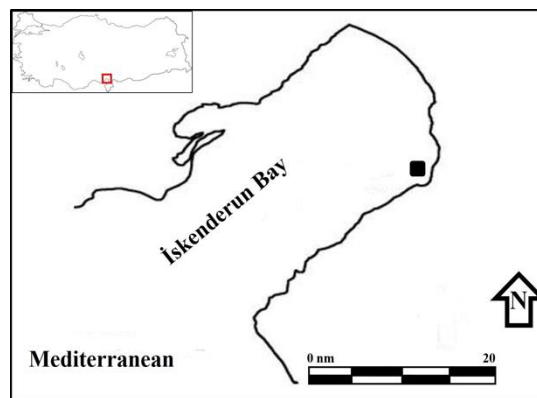


Figure 1. Study area (modified from Demirci et al. 2019)

2.2. Sample Collection

A total of 117 specimens were collected. All collected samples were transported to the laboratory. After that, all samples were measured to the nearest 0.01 mm total length (T) using digital vernier caliper and weighed to nearest 0.01 g (total weight). Biometric measurements of the sea urchins were made and the peristome was cut in two with the help of scissors. The fluid in the perivisceral space was drained, the digestive system was cleaned and the gonad lobes were reached. In the sea urchin test

(shell), the gonads were removed with forceps and weighed. The test diameter (perpendicular to the oral-aboral axis) and the length (by oral-aboral axis) were measured. Then, samples were dissected to eliminate all the subjects of the coelomic cavity and release the skeletal parts, including the test and Aristotle's lantern (Table 1).

Table 1. Descriptive statistics of *Diadema setosum* collected from Iskenderun Bay in September 2021.

Measurements	Mean±SE (mm)	Min-Max (mm)
Total Weight	84.65±2.77	27.14-185.11
Test Weight	32.72±1.21	9.79-79.34
Test Height	26.99±0.82	9.1-61.35
Test Diameter	51.8±1.18	24.32-81.1
Aristotle's Lantern Weight	6.03±0.33	2.4-9.6
Test Thickness	1.74±0.06	0.6-3.1
Gonad Length	20.38±0.79	6.69-45.49
Gonad Weight	3.04±0.11	1.2-7.68
Aristotle's Lantern Length	14.64±0.58	7.1-20.2

2.3. Analyses

The length-weight relationship (LWR) was calculated with equation $W = aL^b$, where W is the body weight (g) and L is the total length (mm) (Le Cren, 1951). This equation can be linearized as $W = a*L^b$, which 'a' is the intercept and 'b' is the slope (regression coefficient). According to the method, growth pattern is identifies as isometric when $b=3$, positive allometric when $b>3$ or negative allometric when $b<3$ (Rahman et al. 2012). The biometric measurements were made of using by Microsoft Excel Program 2016 version. Results were expressed as the Mean ± Standard Error.

The length and weight frequency data of *D. setosum* were examined using the SPSS Version 17.0.

Gonadosomatic index (GSI) calculated by using three different equations (Agatsuma, 1998; Gonor, 1972). Results were expressed as the Mean ± Standard Error.

$$GSI1 = \frac{\text{wet gonad weight (g)}}{\text{total weight (g)}} \times 100 \quad (\text{Agatsuma, 1998})$$

$$GSI2 = \frac{\text{wet gonad weight (g)}}{\text{test weight (g)}} \times 100 \quad (\text{Gonor, 1972})$$

$$GSI3 = \frac{\text{wet gonad weight (g)}}{\text{test weight (g)} + \text{Aristotle's Lantern weight (g)}} \times 100 \quad (\text{Gonor, 1972})$$

3. Results

This study is the first study examining length-weight relationships, size frequency distribution and different gonadosomatic index (GSI) of *D. setosum* known as invasive and poisonous species from Iskenderun Bay. Biometric measurements of the species were the largest at 185.11 g and the smallest

at 27.14 g. The test diameter was maximum of 88.47 mm and minimum of 21.32 mm. As a result of the biometric measurements, the average length and weight of the Aristotle's lantern was 6.30 ± 1.92 mm and 15.08 ± 3.37 g, respectively (Table 1).

3.1. Length-Weight Relationships

LWRs of *D. setosum* was estimated as $W = 0.7917 * L^{1.1773}$ ($R^2 = 0.7079$) (Table 2). The considered growth coefficient (b) was 1.1773 and the constant (a) was 0.7917. The LWR curves are existing in linear scale (Figure 2). The LWR outcomes were showed negative allometric ($b < 3$) growth for *D. setosum*.

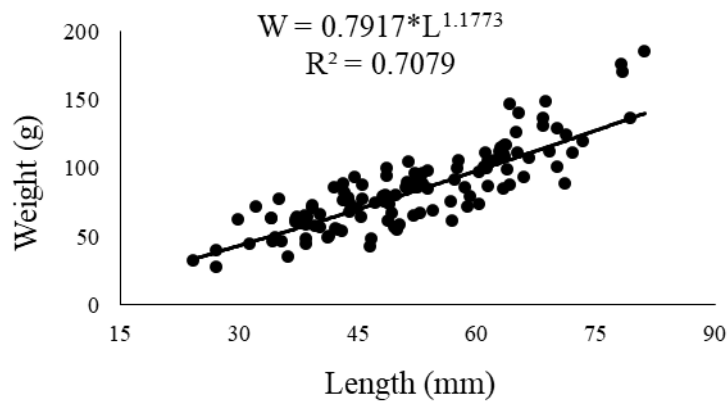


Figure 2. The length and weight relationship of *Diadema setosum* (n=117).

3.2. Weight and Average Test Diameter frequency distribution

The mean test diameter and weight of the population of *D. setosum* was 51.8 ± 1.18 mm and 84.65 ± 2.77 g, respectively (Table 1). The most common test diameter in the sample from Iskenderun Bay was 65 mm with an average of 51.84 ± 1.18 mm (Fig 3A). The most frequent total body weight in the sample from Iskenderun Bay was 70 g and the average weight of the sample was 85.64 ± 2.77 g (Fig. 3B).

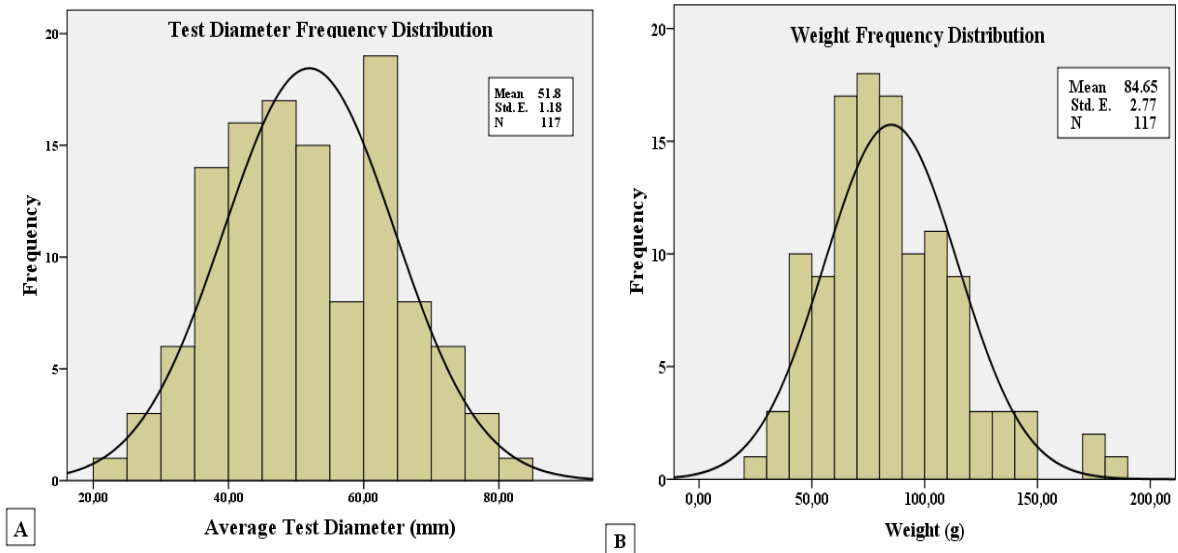


Figure 3. Test diameter frequency distribution (A) and weight frequency distribution (B) of *D. setosum*.

3.3. Gonadosomatic Indexes

Invasive sea urchin (*D. setosum*) calculated the gonadosomatic index based on different methods, and Figure 4 was also shown. Gonadosomatic index values were calculated at 3.4 ± 0.04 %, 8.91 ± 0.09 %, and 7.50 ± 0.14 %, respectively, in GSI1, GSI2, and GSI3, and ranked as $GSI2 > GSI3 > GSI1$ (Figure 4).

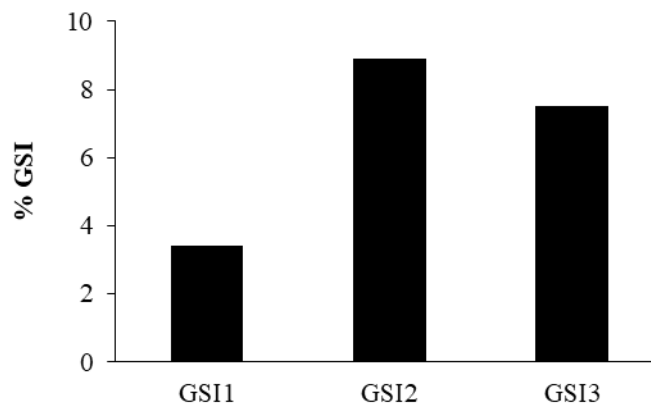


Figure 4. The change of *D. setosum* gonadosomatic index (GSI) according to different methods.

4. Discussion

Information on the length-weight relationships (LWRs), size frequency distribution and different gonadosomatic indexes (GSI) for this species is reported for the first time in the Iskenderun Bay. The size frequency distribution of *D. setosum* reveals that the length ranges from 24.32 to 81.1 mm and weight from 27.14 to 185.11 g (Table 1). According to the Smith and Kroh (2011), *Stomopneustes variolaris* from Visakhapatnam Coast (India) has a maximum shell length of 110 mm. According to

the De Zoysa et al. (2017), *S. variolaris* from Sri Lanka has a maximum shell length of 89 mm. According to the Sellem and Bouhaouala-Zahar (2021), *Paracentrotus lividus* sea urchin species from Tunisia's shallow coasts has a maximum shell length of 67.9 mm. According to the Rahman et al (2012), sea urchin *D. setosum* species from Pulau Pangkor, Peninsular Malaysia has a average shell length and total weight of 59.66 mm and 101.68 g, respectively. Lök and Köse (2006) investigated the gonadosomatic index change of *Arbacia lixula* and *P. lividus* sea urchin species from Urla-Iskele in Izmir Bay. As a result of the study, the maximum shell length and total weight of *A. lixula* sea urchin were 55.6 mm and 73.78 g, respectively. Maximum shell length and total weight of *P. lividus* sea urchin species are 73.3 mm and 96.12 g, respectively. According to the Köktürk (2014), sea urchin *P. lividus* species from Çanakkale coasts has an average weight and shell length of 36.12 g and 38.19 mm, respectively. Average Aristotle's lantern length of 14.89 ± 0.40 mm (Köktürk, 2014). Siddique and Ayub (2016), *Echinometra mathaei* sea urchin species from Buleji rocky shore of Karachi in Pakistan has a shell length ranges from 19 to 77.2 mm and total weight ranges from 13.3 to 121.6 g.

Among the invertebrates and fish species the value of the example (*b*) as 3 for the length-weight relationship showed that the growth in weight is isometric with the length, while *b* value not the same as 3 showed that the development is allometric. The present study revealed the *b* value (1.1773) was less than 3, which concludes that *D. setosum* from Iskenderun Bay were close to isometric growth in weight, because "*b*" exponent value usually lay between 2.5 to 4.0 and that depends on the age, sex or maturity of species. Tomšić et al. (2010), Rahman et al. (2012, 2013), De Zoysa et al. (2017) and Ballesteros (1981) also reported the LWRs values of the current study were higher than the others (Table 2). This influence of negative allometric growth of *D. setosum* in sea urchins may be the environmental parameters and feeding habits (Jones et al. 1999; Rahman et al. 2012). De Zoysa (2017), *S. variolaris* sea urchin species from Beruwala, Tangalle and Mt. Lavinia in Sri Lanka has a shell diameter of 6.70 ± 1.26 cm, 6.54 ± 2.71 cm and 5.55 ± 1.04 cm, respectively. To till, there is limited data accessible on LWRs of the invasive sea urchin *D. setosum* in the Iskenderun Bay, except Şimşek et al. (2018), who recorded the mean length and weight of same species were 55.85 mm and 86.71 g, respectively.

Küçükdermenci and Lök (2016) reported four different gonadosomatic index changes of *A. lixula* sea urchin in Muğla locality GSI1 GSI2 GSI3 and GSI4 are 5.79%, 9.6%, 2.58% and 8.79%, respectively. Vafidis et al. (2020) reported the GSI values of *Sphaerechinus granularis* species as 0.316-3.264% in Pagasitikos Bay. Köktürk (2014) reported the gonad index value of *P. lividus* species as the highest $8.04\% \pm 0.59\%$ and the mean $5.97 \pm 0.58\%$ for the sea urchin in Çanakkale Güzelyalı coast. De Zoysa (2014) reported the gonad index changes of *S. variolaris* sea urchin in Sri Lanka at 3 different stations, Beruwala, Tangalle and Mt. Lavinia samples were recorded as 3.22 ± 1.63 , 3.44 ± 1.89 , and 5.95 ± 3.26 , respectively. Shpigel et al. (2004) revealed that GSI of *P. lividus* ranges between 6% and 12%. Arafa et al. (2012), reported that the gonadosomatic index value of *P. lividus* sea urchin species was the

highest (16.71%) and the lowest (7.12%) in the Gulf of Tunisia. Thai et al. (2019) determined the highest gonadosomatic index of *D. setosum* sea urchin species as 16.1% in Hon Son Island, Viet Nam. Kaneko et al. (2012) reported *D. setosum* sea urchin species gonadosomatic index changes (GSI) between 9.3-10.4% in the Nagasaki region of Japan. Results obtained in this study was similar to the previously reported LWRs and GSI values of the sea urchin species.

Table 2. Length-weight relationships and other parameters of sea urchin species in other region

Region	Species	N	a	B	R ²	References
	<i>Paracentrotus lividus</i>	100	0.0032	2.479	0.92	
Tossa de Mar (Gerona), Spain	<i>Arbacia lixula</i>	100	1.066	0.384	0.77	Ballesteros, 1981
	<i>Sphaerechinus granularis</i>	100	4.014	0.118	0.98	
Croatia, Eastern Adriatic	<i>Paracentrotus lividus</i>	1133	1.894	1.849	0,679	Tomšić et al. 2010
Pulau Pangkor, Malaysia	<i>Diadema setosum</i>	101	0.04	1.9049	0.6339	Rahman et al. 2012
Peninsular Malaysia	<i>Stomopneustes variolaris</i>	355	0.004	2.4396	0.77	Rahman et al. 2013
Aegen Sea, Turkey	<i>Paracentrotus lividus</i>	60	2.926	-0.366	0.95	Küçükdermenci and Lök, 2014
Mount-Lavinia, Sri Lanka		43	0.9953	2.6472	0.9360	
Beruwala, Sri Lanka	<i>Stomopneustes variolaris</i>	99	0.9651	2.6536	0.8600	D Zoysa et al. 2017
Tangalle, Sri Lanka		55	1.4665	2.4637	0.9402	
İskenderun Bay, Turkey	<i>Diadema setosum</i>	117	0.7917	1.1773	0.7079	This study

N: number of samples; *a*: intercept of the relationship; *b*: slope of the relationship; *R*²: coefficient of correlation

5. Conclusion

This study is the first detailed study to which aimed to determine size frequency distribution, length-weight relationships (LWRs) and different gonadosomatic indexes (GSI) of invasive sea urchin, *D. setosum* from İskenderun Bay. More detailed studies needs to be conducted to access the population size and GSI for the proper reproduction season of invasive *D. setosum* individuals. Therefore, in combination with data from other to do studies LWRs and GSI, this study contributes to the scientific knowledge for appropriate controlling the policies and strategies aimed at reducing the invasive sea urchin.

Acknowledgment

This study is a part of PhD thesis of the first author, which was carried out under the supervision of second author. Thanks to the Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK-2211/C National PhD Scholarship Program for Priority Areas) and Council of Higher Education for 100/2000 PhD scholarship program for support.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

In this study, the first author carried out field and laboratory studies of the study and wrote the article, while the second author planned the study and acted as the supervisor of the thesis.

References

- Agatsuma Y. Aquaculture of the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) transplanted from coralline flats in Hokkaido, Japan. *Journal of Shellfish Research* 1998; 17(5): 1541-1547
- Arafa S., Chouaibi M., Sadok S., El Abed A. The influence of season on the gonad index and biochemical composition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* from the Gulf of Tunis. *The Scientific World Journal* 2012; 8 <https://doi.org/10.1100/2012/815935>
- Artüz ML., Artüz OB. First and northernmost record of *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Diadematidae) in the Sea of Marmara. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 2019; 35(2): 375-379.
- Avşar D. Physico-chemical characteristics of the eastern Mediterranean in relation to distribution of the new Scyphomedusae (*Rhopilema nomadica*). *Turkish Journal of Zoology* 1999; 23: 605-616
- Ballesteros E. Algunos datos biométricos de *Paracentrotus lividus* (Lmk.), *Arbacia lixula* (L.) *Sphaerechinus granularis* (Lmk.) (Echinodermata, Echinoidea). 1981; 5: 227-231.
- Bolger T., Connolly PL. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology* 1989; 34(2): 171-182.
- Bronstein O., Loya Y. Echinoid community structure and rates of herbivory and bioerosion on exposed and sheltered reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2014; 456: 8-17.
- Can MF., Demirci A., Demirci S. Fisheries in Iskenderun Bay, Report of the ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour (WGFTFB) 2006; 50.
- Chen G., Xiang WZ., Lau CC., Peng J., Qiu JW., Chen F., Jiang Y. A comparative analysis of lipid and carotenoid composition of the gonads of *Anthocidaris crassispina*, *Diadema setosum* and *Salmacis sphaeroides*. *Food Chemistry* 2010; 120(4): 973-977.

- Clark HL. A catalogue of the recent sea-urchins (Echinoidea) in the collection of the British Museum (Natural History). London, xxviii 1925; 250.
- De Zoysa HKS., Jinadasa BKKK., Edirisinghe EMRK., Jayasinghe GDTM. Length-weight relationship of black sea urchin (*Stomopneustes variolaris*) in Sri Lanka. International Journal of Aquatic Biology 2017; 5(6): 408-412.
- Demirhan SA., Alkan A., Şimşek E. Artificial reef application from the Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean, Turkey; an experimental study. Sakarya University Journal of Science 2020; 24(1): 49-54.
- Demirci S., Simsek E., Demirci A. Assessment of age and growth parameters of the nakedband gaper *Champsodon nudivittis* (Ogilby, 1895) with different models in the Eastern Mediterranean. Pakistan Journal of Zoology 2016; 48(3): 891-894.
- Demirci S., Demirci A., Şimşek E. Spawning season and size at maturity of a migrated fish, Randall's Threadfin Bream (*Nemipterus randalli*) in Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin 2018; 27: 503-507.
- Demirci A., Şimşek E., Akar Ö., Demirci S. Closed areas for fishing in the Iskenderun Bay and illegal fishing activities. 2nd International Congress on Engineering and Life Sciences Abstract and Proceeding Book, 2019; 664-666.
- Demirci S., Demirci A., Şimşek E. The validation of different growth models of randall's threadfin bream, *Nemipterus randalli* (Russell, 1986), in Northeastern Mediterranean Sea. Pakistan Journal of Zoology 2020; 52(3): 1113-1119.
- Diaz LS., Roa A., Garcia CB., Acero A., Navas G. Length-weight relationships of demersal fishes from the upper continental slope off Colombia. Naga ICLARM Q 2000; 23: 23-25.
- Dumont CP., Lau DC., Astudillo JC., Fong KF., Chak ST., Qiu JW. Coral bioerosion by the sea urchin *Diadema setosum* in Hong Kong: Susceptibility of different coral species. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 2013; 441: 71-79.
- Gezer B. Cu (II) adsorption with activated carbon obtained from sea urchin prepared by ultrasound assisted method. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 9(2): 770-780. DOI: 10.28948/ngumuh.700773
- Goncalves JMS., Bentes L., Lino PG., Ribeiro J., Canario AVM., Erzini K. Weight-length relationships for selected fish species of the small-scale demersal fisheries of the south and southwest coast of Portugal. Fisheries Research 1997; 30: 253-256.
- Gonor JJ. Gonad growth in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermota: Echinoidea) and the assumptions of gonad index methods. Journal Experimental Marine Biology Ecology 1972; 10: 89-103. doi: 10.1016/0022-0981(72)90095-0
- Jones RE., Petrell RJ., Pauly D. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish. Aquacultural Engineering 1999; 20: 261-276.

- Kaneko K., Matsumoto H., Shirai T., Kamei M., Okazaki E., Osako K. Seasonal variations in free amino acid composition and taste aspects of black sea urchin, *Diadema setosum*, gonad. Food Science and Technology Research 2012; 18(6): 835-842.
- Karaaslan M. Investigation of the effects of propylparaben on embryo development using sea urchin (*Arbacia lixula*), HASAT Uluslararası Tarım ve Orman Kongresi, Ankara, Türkiye, 21-23 Haziran 2019, 110-111
- Koutrakis ET., Tsikliras AC. Length-weight relationships of fishes from three northern Aegean estuarine systems (Greece). Journal of Applied Ichthyology 2003; 19: 258-260.
- Köktürk A. Denizkestanelerinde (*Paracentrotus lividus*, Lamarck, 1816) üreme döngüsü ve gonadosomatik indeks oranı. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sayfa no: 57 İzmir, Türkiye, 2014
- Küçükdermenci A., Lök A., Serdar S., Acarlı S., Acarlı D., Yıldız H., Yiğitkurt S., Kırtık A. Çeşme Körfezi'ndeki (Doğu Ege Denizi) Avrupa Deniz Kestanesi'nin (*Paracentrotus lividus*, Lamarck, 1816) gonad ve mide indeksleri. Su Ürünleri Dergisi 2015; 32(2): 59-63.
- Küçükdermenci A., Aynur L., Kırtık A., Kurtay E. Body components indices variations in European sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1871) in Antalya. Acta Biologica Turcica 2018; 31(2): 46-48.
- Küçükdermenci A., Lök A. Morphometric relationships and variability of annual body condition of sea urchin *Paracentrotus lividus* Echinodermata: Echinodermata at Foca coast in the South Aegean Sea. Fresenius Environmental Bulletin 2014; 23(10): 1-9.
- Küçükdermenci A., Lök A. Muğla-Ören Mevkii'nden toplanan denizkestanelerinin (*Arbacia lixula*) gonadosomatik ve vücut indeks değişiminde farklı metotların uygulanması. Su Ürünleri Dergisi 2016; 33(4): 355-360.
- Le Cren, E.D. The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). Journal of Animal Ecology 1951;20(2): 201-219. <http://dx.doi.org/10.2307/1540>.
- Lessios HA., Kessing BD., Pearse JS. Population structure and speciation in tropical seas: global phylogeography of the Sea Urchin *Diadema*. Evolution 2001; 55: 955–975.
- Lök A., Köse A. Urla İskele'den toplanan deniz kestanelerinin (*Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula*) gonadosomatik indeks değişimi. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2006; 23(1-2): 7-11.
- Muthiga NA, McClanahan TR. *Diadema*. In: Lawrence J, editor. Sea urchins: biology and ecology. Elsevier; 2020. p. 397–418
- Nhan HT., Nhu TQ., Duc PM., Liew HJ., Ako H., Jha R. Effects of dietary arachidonic acid on final maturation, spawning and composition of gonad of black sea urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778). Aquaculture Nutrition 2020; 26(5): 1771-1779.

- Oscoz J., Campos F., Escala MC. Weight-length relationships of some fish species of the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Ichthyology* 2005; 21: 73-74.
- Polat S. Abundance and distribution patterns of phytoplankton in the coastal waters of Northeastern Mediterranean, 27-32, In: *Phytoplankton responses to Mediterranean environmental changes CIESM Workshop*, 7-10 October 2009, Tunis.
- Polat S., Piner P., M. Seasonal variations in biomass, abundance and species diversity of phytoplankton in the Iskenderun Bay (Northeastern Mediterranean). *Pakistan Journal of Botanic* 2002; 34(2): 101-112
- Qiu JW., Lau DC., Cheang CC., Chow WK. Community-level destruction of hard corals by the sea urchin *Diadema setosum*. *Marine Pollution Bulletin* 2014; 85(2): 783-788.
- Rahman MA., Amin SMN., Yusoff FM., Arshad A., Kuppan P., Nor Shamsudin M. Length weight relationships and fecundity estimates of long-spined sea urchin, *Diadema setosum*, from the Pulau Pangkor, Peninsular Malaysia. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 2012; 15(3): 311-315.
- Rahman MA., Yusoff FM., Arshad A., Amin SMN., Mariana NS. Population characteristics and fecundity estimates of short-spined white sea urchin, *Salmacis sphaeroides* (Linnaeus, 1758) from the coastal waters of Johor, Malaysia. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 2013; 8(2): 301-308.
- Sellem F., Bouhaouala-Zahar B. Biometric characteristics of the wild population of sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) on the Tunisian coast. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 2021; 1-11.
- Shpigel M., McBride SC., Marciano S., Lupatsch I. The effect of photoperiod and temperature on the reproduction of European sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Aquaculture* 2004; 232(1): 343-355.
- Siddique S., Ayub Z. Length-weight relationships and condition factor of the sea urchin *Echinometra mathaei* (Echinoidea: Echinodermata) on Buleji rocky shore of Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Marine Sciences* 2016; 25(1-2): 161-171.
- Simsek E., Demirci A., Demirci S., Akar Ö., Bayraktar O. Some biological parameters of long spined sea urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) in Iskenderun Bay. 1082. *International Ecology Symposium*, (Poster Presentation), 19-23 June 2018, Kastamonu, Turkey.
- Smith AB., Kroh A. The echinoid directory. Retrieved 20/01/2022, from <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory>, 2011.
- Thái NH., Quynh NT., Thu TNT. Nghiên cứu một số đặc điểm sinh học sinh sản cầu gai đen *Diadema setosum* (Leske, 1778). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* 2019; 55(2): 28-37.

- Tomšić S., Conides A., Dupčić Radić I., Glamuzina B. Growth, size class frequency and reproduction of purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) in Bistrina Bay (Adriatic Sea, Croatia). *Acta Adriatica: International Journal of Marine Sciences* 2010; 51(1): 67-77.
- Turan C., Erguden D., Uygur N. On the occurrence of *Diadema setosum* (Leske, 1778) in Antakya Bay, Eastern Mediterranean Sea. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment* 2011; 17(1): 78-82.
- Vafidis D., Antoniadou C., Ioannidi V. Population density, size structure, and reproductive cycle of the comestible sea urchin *Sphaerechinus granularis* (Echinodermata: Echinoidea) in the Pagasitikos Gulf (Aegean Sea). *Animals* 2020; 10(9): 1506.
- Yapıcı S., Acar Ü., Türker A. First record of the alien sea urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Diadematidae) from the Aegean Sea. *Mediterranean Marine Science* 2014; 15(3): 682.
- Yeşilbudak, B. Length-weight Relationships with condition indices of three commercial fish species caught by monofilament gillnets in the İskenderun Bay, Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 4(1): 59-64. DOI: 10.47495/okufbed.803064
- Yokes B., Galil BS. The first record of the needle-spined urchin *Diadema setosum* (Leske, 1778) (Echinodermata: Echinoidea: Diadematidae) from the Mediterranean Sea. *Aquatic Invasive* 2006; 1(3): 188-190.

Kompaksiyon Yönteminin Farklı Tip Geri Dönüştürülmüş Agregalar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Bahadır OK^{1*}, Hüseyin ÇOLAKOĞLU²

^{1,2}Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-8333-5671>

²<https://orcid.org/0000-0001-6804-0963>

*Sorumlu yazar: bahadirok@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.02.2022

Kabul tarihi:06.07.2022

Online Yayınlanma:12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

İnşaat ve yıkıntı atıkları

Kompaksiyon yöntemi

Atık agregalar

Sürdürülebilirlik

Geri dönüşüm

Dolgular

ÖZ

Son yıllarda inşaat ve yıkıntı atıklarının dönüştürülerek tekrar kullanılması, çevresel kaygılar ve ekonomik sebeplerden dolayı artarak önem kazanmıştır. Bu çalışmada farklı inşaat ve yıkıntı atıklarından dolgu inşa edebilmek için sıkıştırılmasında kompaksiyon yönteminin etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda önce beş farklı yıkıntı atığı dönüştürülerek granüler dolgu malzemesi haline getirilmiş ve su emme gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu atık agregalar üzerinde ayrı ayrı düşen tokmak ve titreşimli tokmak kullanarak kompaksiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kompaksiyon deneyleri öncesi ve sonrası elek analizleri ile danelerin kompaksiyon yöntemine göre parçalanma durumları araştırılmıştır. Bu deneyler atık agregaları kıyaslama amacı ile bir çeşit doğal agrega üzerinde yürütülmüştür. Çalışma sonucunda atık agregaların su emmelerinin limit değerlerden yüksek olduğu ve tuğla bazlı atık agregaların su emme değerlerini daha da yükselttiği görülmüştür. Ayrıca atık agregaların titreşimli tokmaklarla sıkıştırılmasının danelerin parçalanmasını azaltacağından faydalı olacağı öne sürülmektedir.

The Investigation of the Effects of Compaction Method on Different Types of Recycled Aggregates

Research Article

Article History:

Received: 18.02.2022

Accepted: 06.07.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Construction and demolition wastes

Compaction method

Waste aggregates

Sustainability

Recycling

Fillings

ABSTRACT

In recent years, the recycling and reuse of construction and demolition wastes have become increasingly important due to environmental concerns and economic reasons. In this study, the effect of the compaction method on the compaction of different construction and demolition wastes in order to build a filling was investigated. Accordingly, firstly, five different debris wastes were converted into granular filling material and their physical properties such as water absorption were determined by laboratory tests. After that, compaction tests were carried out on these waste aggregates using separately falling hammers and vibrating hammers. Besides, sieve analyzes were conducted before and after the compaction tests, and so the disintegration of the particles according to the compaction method was investigated. These tests were performed on a type of natural aggregate to compare waste aggregates. As a result of the study, it was observed that the water absorption values of the waste aggregates were greater than the limit values, and also the brick-based waste aggregates were caused to more increase water absorption value. It was also put forward due to the fact that compacting the waste aggregates with vibratory rammers will be beneficial as it will reduce the degradation of the particles.

To Cite: Ok B., Çolakoğlu H. Kompaksiyon Yönteminin Farklı Tip Geri Dönüştürülmüş Agregalar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1592-1607.

1. Giriş

Agregalar inşaat mühendisliği uygulamalarında en fazla tüketilen doğal kaynaklardan biridir. Sanayi Devrimi sonrasında hızla gelişen teknoloji ve nüfus artışı beraberinde inşaat sektörünün hızlı bir şekilde büyümesine sebep olmuştur. Bunun bir sonucu olarak sınırlı kaynaklara sahip olan doğal agregaya talep artmış ve talepteki artışa paralel olarak da agreganın maliyeti artmıştır. Bu durum taş ocaklarının sayısını arttırmıştır. Ancak yeni açılan taş ocakları ile beraber taş ocaklarının doğal yaşam ve çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler de artmıştır. Bu duruma önlem olarak çevre yönetmelikleri ağırlaştırılmış ve bu da agreganın maliyetini daha da arttırmıştır (Arulrajah ve ark., 2011). Maliyet artışının dışında bir doğal kaynak olan agreganın gelecekte tükenmesi olasıdır. Bütün bu sebepler, agregaya alternatif malzeme seçeneklerinin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur (Arulrajah ve ark., 2011; Cerni ve ark., 2012; Arulrajah ve ark., 2013; Vieira ve Pereira, 2015).

İnşaat sektörü yoğun olarak atık üreten bir sektör olup (üretilen toplam atıkların yaklaşık yarısına yakını) bu sektörde üretilen atıklar ülkemizde inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA), dünya literatüründe ise yaygın bir şekilde “construction and demolition waste” olarak isimlendirilir (Vieira ve Pereira, 2015). Bu atıklar genellikle yapıların yıkımı, onarımı ve inşası gibi inşaat faaliyetleri sonrasında oluşan ve agrega, beton, toprak, tuğla, cam, plastik ve bitümlü karışımlar gibi malzemeleri heterojen bir şekilde içerebilen atıklardır. Ayrıca İYA'nın içerdiği atıkların oranı elde edildiği kaynağa göre değişiklik göstermektedir. Farklı bölgelerde farklı yapı tipleri tercih edilebilmesi, bölgedeki ustaların tecrübeli olduğu inşaat yöntemlerinin kullanılması, bölgeye yakın yapı malzemelerinin daha çok tercih edilmesi, bölgedeki binaların inşa edildiği yıllardaki yönetmelikler, vb. etmenler farklı bölgelerden elde edilen İYA'ların farklı özelliklere sahip olmasına sebep olacaktır. Son yıllarda gelişen inşaat sektörüne paralel olarak İYA'ların üretimi de artmaktadır (Jimenez ve ark., 2012; Cerni ve ark., 2012; Arulrajah ve ark., 2013). Ayrıca bu artış günden güne de artarak devam etmektedir. Örneğin, Avrupa Birliği komisyonunun bir çalışma gurubu 1999'da Avrupa genelinde yılda yaklaşık 180 milyon ton İYA üretildiğini bildirirken, aynı komisyon 2010 yılında 310 ila 720 milyon ton İYA üretildiğini raporlamıştır. Yani üretilen atık miktarı 11 yılda yaklaşık 2-4 katına çıkmıştır (Vieira ve Pereira, 2015; Ok, 2018; Sarıcı, 2019; Ok ve ark., 2020). Bu artışın kentsel yenileme projeleri ile daha da artması beklenmektedir. Bu bağlamda önümüzdeki on yıllık süreçte Türkiye'de 6-7 milyon yapının yıkılması öngörülmektedir (Ok, 2018). Üretilen İYA'ların bir kısmı geri dönüştürülse de (2010 yılında Avrupa'da geri dönüşüm oranı yaklaşık %46) hala büyük bir kısmı depolama alanlarında depolanmaktadır. Bununla birlikte çevre sürdürülebilirliğini arttırmak ve dolayısı ile özellikle son yıllarda küresel çapta büyük problemler yaratan küresel ısınmayı azaltmak için bu atıkların depolanması yerine tekrar kullanılması önem arz etmektedir. Tekrar kullanım sonucunda doğal kaynakların tüketimi, atık depolama maliyetleri ve alanları, sera gazı salınımları ve inşaat maliyetleri azaltılabilirken enerji tasarrufu da

sağlanabilir. Bu bağlamda özellikle son yıllarda yoğunlaşan bir şekilde bu atıkların tekrar kullanımı için yollar aranmaktadır.

Birçok araştırmacı yürüttüğü çalışmalarda İYA vb. atık malzemeler üzerinde elek analizi, Los Angeles deneyi, yassılık indeksi deneyi, su emme deneyi, dane yoğunluğu deneyi gibi deneyler yaparak fiziksel özelliklerini ve ayrıca modifiye kompaksiyon deneyi, serbest basınç deneyi, CBR, esneklik modülü deneyi, üç eksenli deneyi, kesme kutusu deneyi gibi bazı geoteknik deneyleri yaparak geoteknik özelliklerini incelemiştir. Çalışmaların sonucunda bu atıkların çeşitli dolgularda dolgu malzemesi olarak kullanılma potansiyelinin olduğu bildirilmiştir (Bennert ve ark., 2000; Nataatmadja ve Tan, 2001; Molenaar ve van Niekerk, 2002; Sivakumar ve ark., 2004; Poon ve Chan, 2006; Santos ve Vilar, 2008; Arulrajah ve ark., 2011; Leite ve ark., 2011; Cerni ve ark., 2012; Arulrajah ve ark., 2013; Vieira ve Pereira, 2015; Ok ve ark., 2020). Bununla birlikte çalışmalarda İYA'nın içeriğinde barındırdığı beton (Recycled Concrete Aggregate-Geri dönüşümlü Beton Atığı-GBA) ve tuğla parçalarının (Crushed Brick – Tuğla Atığı-TA) İYA'nın fiziksel ve geoteknik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebileceği açıktır. İYA'nın içerisinde barındırabildiği farklı atıkların araştırılması hem İYA'ların daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayarak kullanımını arttırabilecek hem de farklı atık agregaların doğal agregalar yerine kullanılabilmesi durumunun kıyaslanabilmesine imkân verebilecektir. Bu durum İYA'ların kullanımı ile elde edilebilecek ekonomik ve çevresel kazançları arttırabilecektir. Nataatmadja ve Tan (2001), çalışmalarında farklı dayanıma sahip geri dönüşümlü betonlardan elde ettiği GBA'lar üzerinde araştırmalar yaparak dayanım etkisini vurgulamışlardır. Daha sonrasında birçok çalışmada GBA, TA ve doğal agregalar üzerinde deneyler yapılarak İYA'nın büyük oranda içerebileceği atıkların İYA'nın fiziksel ve geoteknik özelliklerine etkisi olacağı ifade ederek konu ile ilgili çalışmaların geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. (Sivakumar ve ark., 2004; Poon ve Chan, 2006; Arulrajah ve ark., 2011; Leite ve ark., 2011; Cerni ve ark., 2012; Arulrajah ve ark., 2013). İYA'ların dolgularda doğal agregalara alternatif olarak kullanılabilmesi için kompaksiyon özelliklerinin doğal agregaya göre kıyaslanması gerektiği açıktır. Özellikle İYA'ların içerdiği farklı atık malzemelerin farklı yöntemlerle sıkıştırılması sonucunda optimum sıkıştırma yöntemi belirlenebilir. Bu da İYA'ların kompaksiyon düzeyini geliştireceği için kullanımını arttırabilir. Ancak İYA'ların içeriğine göre uygun sıkıştırma yöntemini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Granüler zeminlerin kompaksiyonu, zemin türü (dane şekli, pürüzlülüğü vb.), su içeriği, kompaksiyon enerjisi ve kompaksiyon metodundan büyük oranda etkilenmektedir (Holtz ve Kovacs, 1981; Uzuner, 2016). Doğal granüler zeminlerin sıkıştırılmasında kompaksiyon metodunun etkisi hala araştırılan bir konudur. Son yıllarda bazı araştırmacılar granüler doğal zeminlerin statik yük, dinamik yük (düşen tokmak) ve titreşimli tokmakla sıkıştırılmasının önemli etkiler oluşturabileceğini yaptıkları farklı çalışmalarla vurgulamışlardır (Al-Radi ve ark., 2017; Akan ve Keskin 2018; Ji ve ark., 2021; Zvonaric ve ark., 2021). Yaghoubi ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada beton bazlı ve tuğla bazlı geri dönüştürülmüş atık agregaları statik ve dinamik yöntemle

sıkıştırarak yöntemler arasındaki farkı incelemişlerdir. Çalışmalarında statik yükleme ile sıkıştırılan atık agregaların dayanımı ve parçalanmasını da araştırmışlardır. Granüler zeminlerin arazide titreşim yardımı ile sıkıştırılması oldukça yaygındır (Holtz ve Kovacs, 1981; Das ve Sobhan, 2010; Uzuner, 2016). Dolayısı ile titreşimli tokmakla elde edilecek sıkışmanın arazi için bir referans olacağı açıktır. İYA'ların dolgularda granüler malzemeler yerine kullanılması araştırılırken bu malzemelerin sıkıştırılmasında titreşimli sıkıştırma metodunun etkisinin araştırılması arazide yapılacak dolgular açısından önem arz etmektedir. Ayrıca İYA'lar birçok yıkıntı atığını heterojen bir şekilde içerisinde barındırdıkları için sahip oldukları atıkların bileşimi ve dayanımına göre farklı kompaksiyon özellikleri göstermeleri beklenmektedir. Molenaar ve van Niekerk, (2002) ve Leite ve ark. (2011), malzeme içeriğinin kompaksiyon derecesini etkilediğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte atıktaki geri dönüşümlü agregaların bileşimi ve dayanımı değişikçe kompaksiyon sırasında danelerinin aşırı parçalanması ile gradasonunun değişmesi oldukça mümkün görünmektedir. Bu da bu yıkıntı atıklarından inşa edilecek dolgunun kompaksiyonunu ve dolayısı ile mühendislik özelliklerini etkileyecektir. Bu bağlamda literatür incelendiğinde kompaksiyon yönteminin ve atık içeriğinin birlikte atığın kompaksiyonuna etkisini inceleyen çalışmaların arttırılması gerektiği görülmüştür. Literatürde özellikle farklı kompaksiyon yöntemlerine göre atık agregalarda elde edilecek sıkışma düzeylerini inceleyen detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle atık agregaların yük karşısında doğal agregalara göre daha fazla parçalanma eğiliminde olması, kompaksiyon yönteminin atık agregaların sıkışma düzeyini değiştirebileceği olgusunu ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda kompaksiyon yönteminin atık agregalardaki parçalanma etkisi ve dolayısı ile kompaksiyon yöntemine göre atık agregaların sıkışma düzeylerinin belirlenmesi hem literatüre önemli bir katkı yaparak araştırmacılara daha ileri çalışmalar için fikir verebilecek hem de bu atık agregaların arazideki kompaksiyonunu daha verimli hale getirerek mühendislere katkı sağlayabilecektir. Atık agregaların kompaksiyonunu iyileştirmek için yapılacak işlemler veya öneriler atık malzemenin tekrar kullanımı ve dolayısı ile bertarafını arttıracağı için önemli olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada önce temin edilen atıklar bazı işlemlerden geçirilerek (metal parçaların ayıklanması ve agregaların uygun gradasyona getirilebilmesi için parçalanması) üç farklı içeriğe sahip ve aynı içerikte üç farklı dayanıma sahip atık agregalar elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu atık agregaların dane birim hacim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri belirlenmiştir. Devamında atık agregalar üzerinde düşen tokmak ve titreşimli tokmak ile modifiye proktor deneyleri yapılarak sıkıştırma yöntemine göre maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) ve optimum su içeriği (ω_{opt}) değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte deney öncesi ve deney sonrası yapılan elek analizleri ile kompaksiyon yönteminin danelerin parçalanmasına olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca dolgularda yaygınca kullanılan bir çeşit doğal agrega (uygun gradasyona sahip) elde edilerek atık agregalar üzerinde yapılan deneyler yapılmış ve sonuçlar atık agregalardan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanarak sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada beş tane inşaat ve yıkıntı atıkları temelli ve bir adet doğal agrega olmak üzere altı farklı agrega numunesi üzerinde deneyler yapılmıştır. Atık agregalardan üç tanesi geri dönüşümlü beton bazlıdır. Ancak bu atıkların geri dönüştürülerek elde edildikleri betonun dayanımları farklıdır. Kalan iki atık agregadan bir tanesi yıkılan bir binanın atıklarının doğrudan geri dönüştürülmesi ile elde edilen ve birçok atık agregayı içeren inşaat ve yıkıntı atığıdır. Son atık agrega ise atık tuğlaların geri dönüştürülmesi ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal agrega ise atık agregalardan elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla temin edilmiştir.

2.1.1. Atık Agregaların Tipleri ve Temini

Bu çalışmada, Çukurova bölgesindeki 'Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun' kapsamında riskli yapı sınıfına giren yaklaşık 30 yıllık bir betonarme konutun yıkılması sonucu ortaya çıkan atıklar toplanmıştır. Yıkılan binadan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan beton basınç dayanımı testleri sonucunda beton basınç dayanımı ortalama 13,4 MPa belirlenmiştir. Elde edilen yıkıntı atıkları çeşitli işlemlerden geçirilerek inşaat ve yıkıntı atığı agregaya (İYA) dönüştürülmüştür.

Yapıların inşası sırasında kullanılan betonun basınç dayanımının istenilen kalitede olup olmadığının belirlenmesi için beton dökümü sırasında kenarı 15 cm olan küp numuneler alınmaktadır. Elde edilen küp numuneler laboratuvarında 7 ve 28 günlük kürlenme işlemine tabi tutulmakta sonrasında beton basınç cihazında test edilerek beton basınç dayanımları elde edilmektedir (TS EN 12390-3). Test sonrası parçalanmış numuneler belli bir süre sonrasında atık olarak depolama sahalarına gönderilmektedir. Beton basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra atık duruma gelen ve depolanan numunelerden beton sınıfı C40 ve C30 olan numuneler alınmış ve çeşitli işlemlerden geçirilerek geri dönüştürülmüştür. Bu işlem sonucunda iki farklı dayanıma sahip GBA40 (beton sınıfı C40) ve GBA30 (beton sınıfı C30) geri dönüştürülmüş beton agregaları elde edilmiştir. Ayrıca nispeten düşük dayanımlı geri dönüştürülmüş beton agregalar elde etmek için beton bazlı bir malzeme olan ve zamanla deforme olmasından dolayı atık duruma gelen 15 yıllık kilit parke taşları temin edilmiştir. Elde edilen kilit parke taşları üzerinde TS 2824 EN 1338 standardına göre parke yarma deneyi yapılmış ve yarmada çekme dayanımı ortalama 3,85 MPa olarak belirlenmiştir. Daha sonra kilit parke taşları çeşitli işlemlerden geçirilerek dönüştürülmüş kilit parke taşı agregalar (KP) elde edilmiştir. Bunların dışında Çukurova bölgesinde yaklaşık 30 yıl önce üretilen ve atık duruma gelmiş tuğlalar temin edilmiş geri dönüştürülerek tuğla atığı agrega (TA) elde edilmiştir. Elde edilen beş çeşit atık agreganın görüntüsü Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Atık agregalar

2.1.2. Doğal Agregata

Çalışma kapsamında atık agregaların dolgularda kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi açısından dolgularda sıkça kullanılan bir çeşit doğal agregata (DA), Adana ilinde bulunan bir taş ocağından temin edilmiştir. Atık agregalar üzerinde yapılan tüm testler doğal agregata da uygulanmıştır. DA'nın görüntüsü Şekil 2'de gösterilmektedir.



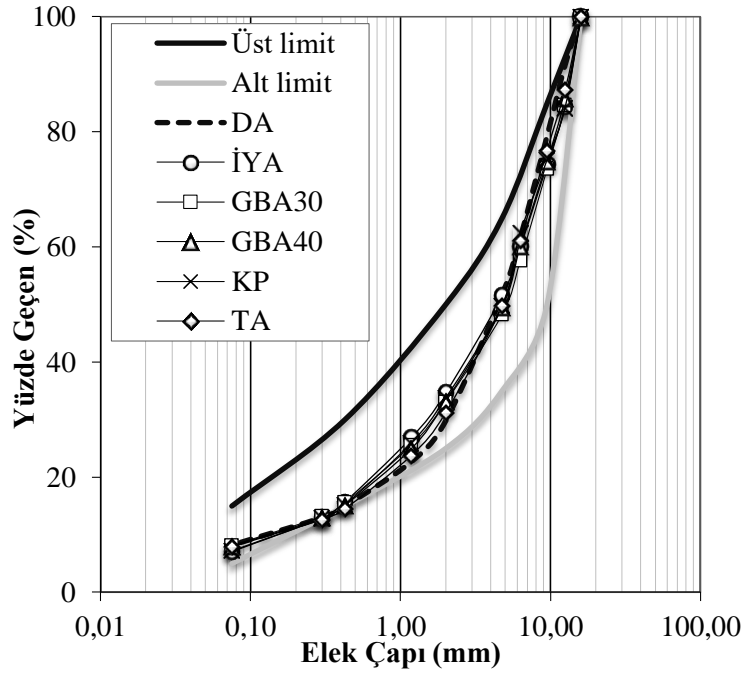
Şekil 2. Doğal agregata

2.1.3. Atık agregaların geri dönüştürülmesi ve uygun gradasyona getirilmesi

Depreme dayanıksız olduğu için yıkılan binanın molozlarındaki özellikle büyük boyutlu metal parçalar (donatı vb.) hali hazırda ekonomik bir değeri olduğu için binayı yıkan firma tarafından alınmıştır. Kalan yıkıntılardaki metal parçaları el ile ayıklanmıştır. Ayıklanan atık malzemeler iki farklı ağız açıklığına sahip çeneli kırıcılar kullanılarak parçalanmıştır (Şekil 3). Parçalanma sonrasında 15-9 mm, 9-5 mm ve 5-0 mm olarak üç farklı boyutta malzeme elde edilmiş ve bu malzemeler üzerinde elek analizleri yapılarak gradasyonları belirlenmiştir (ASTM D 422-63). Daha sonra farklı boyutlardaki malzemelerden, yol temel/alt temel ve yüzey tabakalarında granüler dolgu malzemesi olarak kullanmaya uygun bir gradasyon elde edebilmek için ASTM D 12141-00 standardındaki C gradasyonu hedef alınarak bir karışım hesabı yapılmıştır. Hesap edilen karışım oranlarına göre karışım yapılarak İYA elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen İYA'nın gradasyonunun uygunluğu elek analizi ile kontrol edilmiştir (ASTM D 422-63). Benzer işlemler GBA40, GBA30, KP ve TA için de yapılarak ASTM D 12141-00 standardının C gradasyonuna uygun atık agregalar elde edilmiştir. Bu atık agregalarda İYA gibi metal parça içermemektedir. Ayrıca farklı boyutlarda temin edilen doğal agregalar karıştırılarak ASTM D 1241-00 standardının C gradasyonuna uygun olarak DA elde edilmiştir. Benzer gradasyon elde edilen beş çeşit atık agregaların (İYA, GBA40, GBA30, TA ve KP) ve doğal agregata'nın (DA) gradasyonları Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu malzemelerin hepsi birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre iyi derecelendirilmiş çakıl (GW) olarak sınıflandırılmıştır (ASTM D 2487-11).



Şekil 3. Farklı ağız açıklığına sahip çeneli kırıcılar (Çolakoğlu ve ark., 2021)



Şekil 4. Atık agregalar ve Doğal agreganın tasarım gradasyonları

2.2. Metot

Kompaksiyon yönteminin kompaksiyonu yakından etkileyen parametrelerden biri olduğu bilinmektedir (Das ve Sobhan, 2010). Dolgularda kullanmak için uygun gradasyona getirilen atık agregalarda kompaksiyon yönteminin kompaksiyona etkisini belirlemek için düşen tokmak ve titreşimli tokmak ile kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Ayrıca sıkıştırma aşamasındaki tokmak darbelerinin atık agregalarda yaratacağı parçalanma miktarı, deneyler sonrasında yapılan elek analizleri ile belirlenmiştir. Benzer işlemler doğal agregalar için de yapılarak tokmak darbelerinin doğal ve atık agregalar üzerindeki aşındırıcı etkisi ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2.2.1. Düşen tokmak ile kompaksiyon

Modifiye proktor deneyi, maksimum dane boyutuna göre 3 farklı şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmadaki maksimum dane boyutu yaklaşık 15 mm olduğu için ilgili standardın Metot C yöntemindeki prosedürler uygulanarak düşen tokmak ile modifiye proktor deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Metot C'ye göre numune deney kabına 5 tabaka halinde yerleştirilir ve her tabakaya 45,7 cm yükseklikten, 4,54 kg'lık tokmak (2,700 kNm/m³) 56 defa serbest düşürülerek sıkıştırılır. Her deney sonrası sıkışan malzemeden bir miktar numune alınarak malzemenin su içeriği belirlenir. Bu işlem farklı su içeriklerindeki numuneler üzerinde tekrar edilerek kompaksiyon eğrisi elde edilir. Kompaksiyon eğrisine göre numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) ve optimum su içeriği (ω) belirlenir. Deneyinde kullanılan tokmak ve deney kabı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Düşen tokmakla kompaksiyon deney aletleri ve tokmağın uygulanışı

2.2.2 Titreşimli tokmak ile kompaksiyon

Titreşimli tokmakla kompaksiyon deney standardı, maksimum dane boyutuna göre 2 farklı şekilde sıkıştırma prosedürü öne sürmektedir. Bu çalışmadaki maksimum dane boyutu yaklaşık 15 mm olduğu için ilgili standardın Metot A yöntemindeki prosedürler uygulanarak deney gerçekleştirilmiştir. Metot A'ya göre numune deney kabına 3 tabaka halinde yerleştirilir ve bu işlem farklı su içeriklerinde tekrarlanır. Yerleştirme işleminde her tabakaya 60 saniye boyunca zemine titreşim (Frekans, 22-55 Hz) ve ek yük veren bir tokmak (darbe enerjisi, 12 mN) ile gerçekleştirilir (ASTM 7382-08). Deney düşen tokmak ile yapılan deneye benzer şekilde farklı su içeriklerindeki numuneler üzerinde tekrar edilir. Daha sonra kompaksiyon eğrisi çizilerek numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su içeriği belirlenir. Titreşimli tokmak ile kompaksiyon deneyinde kullanılan titreşimli tokmak ve deney moldu Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Titreşimli tokmakla kompaksiyon deney aletleri ve tokmağın uygulandığı

3. Bulgular

3.1. Malzemelerin fiziksel özellikleri

Çalışma kapsamında atık agregalar (İYA, GBA40, GBA30, TA ve KP) ve doğal agreganın (DA) fiziksel özelliklerini belirlemek için özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır (ASTM C 127-01; ASTM C 128-01; ASTM D 854-02). Malzemelerin dane birim hacim ağırlık ve su emme sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Malzemelerin fiziksel özellikleri

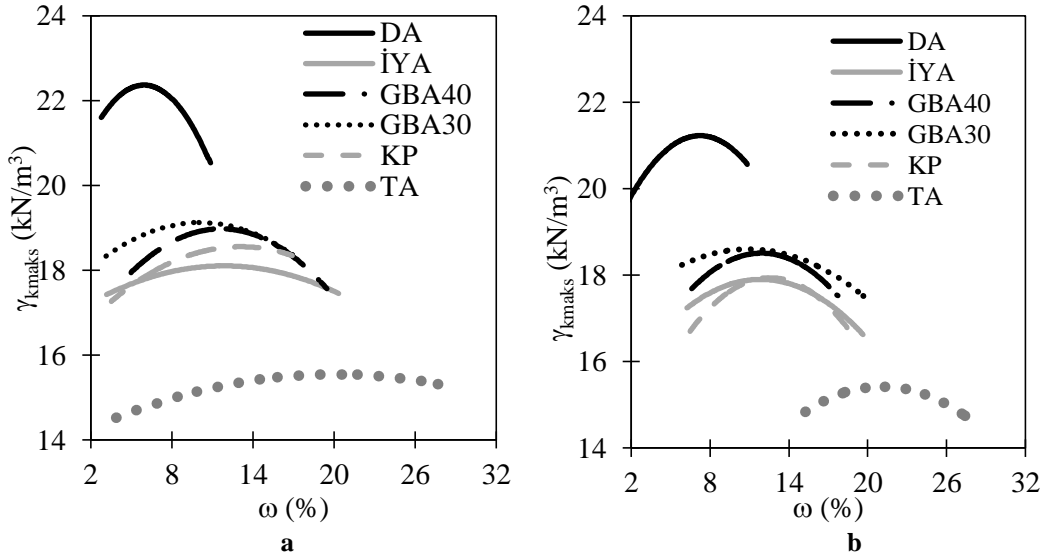
	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)		Su emme (%)	
	Kaba	İnce	Kaba	İnce
DA	26,58	26,60	0,83	3,31
İYA	25,76	26,58	7,69	11,37
GBA40	26,11	25,98	5,47	10,52
GBA30	26,09	26,13	5,38	9,10
KP	25,89	26,60	5,12	6,85
TA	26,47	27,27	16,71	20,24

3.2. Malzemelerin kompaksiyon özellikleri

Çalışma kapsamında dolgularda kullanılmak için uygun gradasyona getirilen atık ve doğal agregalar üzerinde iki farklı kompaksiyon yöntemiyle (düşen tokmak ve titreşimli tokmak) yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Ayrıca kompaksiyon eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de sunulmuştur.

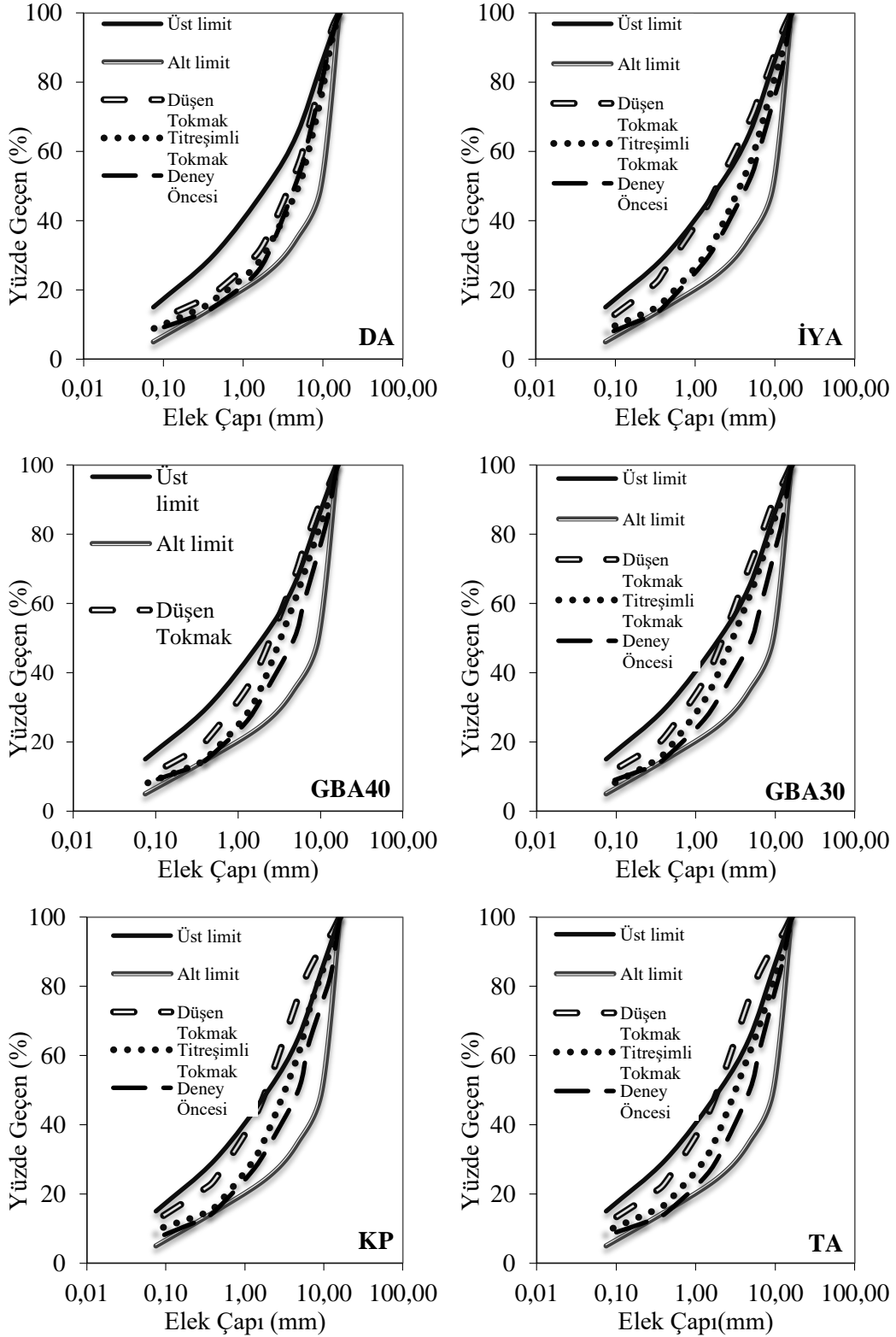
Tablo 2. Atık ve doğal agregalar kompaksiyon parametreleri

Test yöntemi	Düşen Tokmak (ASTM D 1557)		Titreşimli Tokmak (ASTM 7382-08)	
	γ_{kmaxs} (kN/m ³)	ω_{opt} (%)	γ_{kmaxs} (kN/m ³)	ω_{opt} (%)
Kompaksiyon parametreleri				
DA	22,37	6,00	21,24	7,30
İYA	18,10	11,88	17,90	12,00
GBA40	18,97	11,61	18,51	11,95
GBA30	19,13	10,16	18,60	10,95
KP	18,55	12,60	17,95	12,95
TA	15,60	20,13	15,42	21,15



3.3. Kompaksiyon yönteminin danelerin parçalanması üzerine etkisi

İçerdikleri beton vb. atıklardan dolayı genellikle atık agregaların parçalanması doğal agregalara göre daha fazla olmaktadır. Bu bakımdan kompaksiyon yönteminin atık agregaların parçalanma miktarına etkilerinin belirlenebilmesi için kompaksiyon öncesi ve sonrasında elek analizleri yapılmıştır. Ayrıca daha etkin bir değerlendirme yapabilmek adına benzer elek analizleri doğal agregaya üzerinde de yapılmıştır. Elek analizleri sonrasında elde edilen gradasyon değişimleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Kompaksiyon yönteminin danelerin parçalanması üzerine etkilerinin daha iyi değerlendirilebilmesi için deney öncesi ve deney sonrası elek analizlerinden elde edilen D10, D50 ve D85 çapları hem atık hem de doğal agregalar için karşılaştırmalı olarak Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 8. Kompaksiyon yönteminin gradasyon üzerindeki etkisi

Tablo 3. Deneş öncesı ve dene sonrası D_{10} , D_{50} ve D_{85} apları

Malzeme	Kompaksiyon sonrası								
	Kompaksiyon öncesı			Düşen tokmak			Titreşimli tokmak		
	D_{10} (m m)	D_{50} (m m)	D_{85} (m m)	D_{10} (m m)	D_{50} (m m)	D_{85} (m m)	D_{10} (m m)	D_{50} (m m)	D_{85} (m m)
DA	0,13	4,90	10,90	0,07	4,00	9,90	0,11	4,70	10,00
İYA	0,13	4,60	11,00	0,07	2,00	8,70	0,12	3,60	10,20
GBA 40	0,13	5,00	11,00	0,07	2,50	8,60	0,13	3,20	10,20
GBA 30	0,13	5,00	10,90	0,07	2,10	8,00	0,12	3,00	10,00
KP	0,14	4,90	11,50	0,05	1,90	6,60	1,00	3,10	9,90
TA	0,14	4,70	11,00	0,06	1,90	6,50	1,00	3,00	10,10

4. Tartışma

Atık ve doğal agregaların kaba kısımları için dane birim hacim ağırlıkları birbirine yakın olmakla birlikte DA'nın dane birim hacim ağırlığı hem beton bazlı atık agregalardan (GBA40, GBA30 ve KP) hem de diğer atık agregalardan (İYA ve TA) daha yüksek çıkmıştır. Kaba dane için en düşük dane birim hacim ağırlığı İYA'dan elde edilirken, kil bazlı tuğla atığı TA'nın birim hacim ağırlığı diğer atık agregalardan yüksek çıkmıştır. Kaba daneler için TA'nın birim hacim ağırlığının diğer atık agregalardan daha yüksek çıkması, ince bir malzeme olan kil bazlı olmasından dolayı dane içerisindeki boşlukların diğer atık agregalara göre biraz daha az olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum ince agrega kısmında da görülmektedir. Bunun yanı sıra ince agrega için malzeme cinsi ile dane birim hacim ağırlığı arasında belirgin bir ilişki saptanamamıştır.

Çalışmada incelenen doğal agreganın su emme değeri Karayolları Teknik Şartnamesi'ne (2013) göre yol dolgularında alt temel olarak kullanmak için uygun su emme (maksimum %3,5) değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte beton bazlı geri dönüştürülmüş atık agregalar olan GBA40, GBA30 ve KP'nin kaba daneleri için su emme değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Ancak ince danelerde KP'nin su emme değeri GBA40 ve GBA30'un su emme değerlerinin yaklaşık %65 ile %75'i kadar çıkmıştır. Bu durum KP'lerin Karayolları Teknik Şartnamesindeki (2013) su emme sınırı (bütün parça numuneler için su emme değeri sınırı ortalama %6) değerlerine uygun olarak üretilmeye çalışılması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. İYA'nın su emme değeri beton bazlı atık agregalardan yüksek çıkmıştır. Bu duruma İYA'nın içinde bulunan atık tuğla agregaların sebep olduğu düşünülmektedir. Bunu destekler şekilde çalışmada incelenen TA'nın su emme değeri aşırı yüksek çıkmıştır. TA'nın su emme değeri doğal agreganın yaklaşık 6 katı olarak elde edilmiştir. Bazı araştırmacılar tuğla atığıyla yaptıkları çalışmalarda, tuğla atığı agregaların su emme değerlerinin bu çalışmaya benzer şekilde yüksek olduğunu rapor etmişlerdir (Arulrajah ve ark., 2011; Mehrjardi ve ark., 2020). TA'nın aşırı su emme oranının, TA'nın ω_{opt} değerinin diğer atık agregalara yüksek, γ_{kmax} değerinin düşük çıkmasının sebeplerinden bir olduğu tahmin edilmektedir.

Hem atık hem de doğal agregalar için düşen tokmak ile elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlıkların titreşimli tokmakla elde edilene göre daha fazla olduğu optimum su içeriğinin ise daha az

olduğu görülmüştür. Düşen tokmak yönteminde atık agregalarda maksimum kuru birim hacim ağırlıkları titreşimli tokmak yöntemine göre yaklaşık %1-3 daha fazla iken, titreşimli tokmak yönteminde elde edilen optimum su içerikleri düşen tokmak yöntemine göre yaklaşık %7-3 daha fazladır. İki kompaksiyon yöntemi arasındaki fark doğal agregada daha çarpıcıdır. Düşen tokmak yönteminde atık agregalarda doğal agregada maksimum kuru birim hacim ağırlıkları titreşimli tokmak yöntemine göre yaklaşık %5 daha fazla iken, titreşimli tokmak yönteminde elde edilen optimum su içerikleri düşen tokmak yöntemine göre yaklaşık %18 daha fazladır. Bu durumun doğal agregada danelerin sürtünmesinin daha fazla olmasında dolayı titreşimli tokmakla danelerin kolay hareket etmediği, danelerin arasında daha fazla boşluk kaldığı ve düşen ağırlık yöntemi ile titreşimli tokmak metodu arasında atık agregalara göre daha fazla fark elde edildiği düşünülmektedir. Atık agregalarda ise danelerin sürtünmesi doğal agregaya göre az olması sebebi ile titreşimli tokmak yöntemi ile düşen tokmak yöntemine doğal agregalara göre daha yakın kompaksiyon parametreleri elde edilmiştir. Yaghoubi ve ark. (2018) yaptıkları statik yüklemeli kompaksiyon deneyleri sonucunda özellikle statik yüklemde danelerin kenetlenmesi sonucu birbiri üzerinden hareketinin kısıtlandığını ve bu sebeple kısmi bazı bölgelerde boşluk kalabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca iki kompaksiyon yöntemi ile elde edilen kompaksiyon parametrelerinin arasındaki farkta danelerin sürtünmesinin haricinde danelerin parçalanmasının da etkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle düşen ağırlık ile sıkıştırmada danelerin parçalanması yüksek olduğunda parçalanmış daneler sebebi ile sıkışmanın daha iyi olduğu düşünülmektedir.

5. Sonuç

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile beş tane inşaat ve yıkıntı atıkları temelli ve bir tane doğal agrega olmak üzere altı farklı agreganın fiziksel özellikleri, farklı kompaksiyon yöntemleri sonucunda elde edilen kompaksiyon parametreleri ve kompaksiyon yöntemine bağlı olarak danelerin parçalanması araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıdaki maddelerde özetlenerek verilmektedir.

- Doğal agreganın dane birim hacim ağırlığı tüm atık agregalardan yüksek iken su emme değeri düşüktür.
- Su emme bakımından atık agregalar arasında en iyi performansı KP göstermiş diğer beton bazlı atık agregalar da ona yakın su emme değerlerine sahip olmuşlardır. Ancak TA'nın su emme değeri aşırı fazladır (sınırın yaklaşık 6 katı) ve İYA'nın içerisinde de belli oranda TA bulunması İYA'nın su emme değerinin beton bazlı atık agregalardan biraz daha fazla çıkmasına sebep olmuştur.
- Atık agreganın cinsi su emme değerini büyük ölçüde etkilemesine rağmen bütün atık agregaların su emme değerleri yol alt temel dolgu malzemesinin sahip olması gereken maksimum su emme değerinden yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte GBA40, GBA30, KP ve İYA belli oranlarda su emmesi düşük doğal agregalar ile karıştırılarak kullanılmasının atık agreganın su emme değerlerini önemli ölçüde düşürerek uygun hale getirebileceği ön görülmektedir.

- Atık agregaların düşen tokmak ve titreşimli tokmak ile sıkıştırılması sonucu elde edilen γ_{kmaks} ve ω_{opt} değerleri kendi birbirine yakındır. Ancak düşen tokmak deneyi sonucunda atık agregaların daneleri titreşimli tokmak yöntemine göre çok daha fazla parçalanmıştır. Parçalanmanın artması ile dolgunun mühendislik özelliklerinin azalacağı düşünülerek agregaların titreşimli tokmak ile sıkıştırılması uygun olabileceği düşünülmektedir.
- Fiziksel özellik ve kompaksiyon özelliklerine göre DA'ya en yakın performansı yüksek dayanıma sahip GBA40 ve GBA30'un sergilediği sonrasında İYA, KP ve TA'nın geldiği görüşmüştür. Bu nedenle İYA içerisinde bulunan DA (doğal agreg) ve GBA'nın (beton atığı) performansı olumlu yönde etkilediği TA'nın ise olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.
- Heterojen atık agreg karışımı olan İYA'nın içerisinde bulunan atık agregaların oranlarının ve dayanımlarının değişmesinin kompaksiyon parametreleri başta olmak üzere performansı doğrudan etkilediği görülmüştür.
- Atık agregalar dolgularda doğal agregalar yerine kullanmak için büyük bir potansiyele sahip olmasına rağmen özellikle su emme değerlerinin azaltılması kompaksiyonu, su sarfiyatı ve dolgu performansı açısından önem arz etmektedir.

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

- Akan R., Keskin SN. Kompaksiyon yönteminin kohezyonlu zeminlerin serbest basınç mukavemetine etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2018; 6(2): 250-257.
- Al-Radi H., Al-Bukhaiti K., Wei JL. Comparison between static and dynamic laboratory compaction methods. Journal of Engineering and Applied Sciences 2017; 1(1): 34-47.
- Arulrajah A., Piratheepan J., Aatheesan T., Bo MW. Geotechnical properties of recycled crushed brick in pavement applications. J Mater Civ Eng 2011; 23(10): 1444–1452.
- Arulrajah A., Piratheepan J., Disfani MM., Bo MW. Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications. J Mater Civ Eng 2013; 25(8): 1077–1088.
- ASTM C 127-01. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2001.
- ASTM C 128-01. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2001.

- ASTM D 1241-00. Specification for Materials for Soil-aggregate Sub-base, Base and Surface Courses. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2005.
- ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2012.
- ASTM D 2487-11. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). West Conshohocken, USA: ASTM International; 2011.
- ASTM D 422-63. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2009.
- ASTM D 854-02. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2009.
- ASTM D7382. Test methods for determination of maximum dry unit weight and water content range for effective compaction of granular soils using a vibrating hammer. West Conshohocken, USA: ASTM International; 2008.
- Bennert T., Papp W., Maher A., Gucunski N. Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2000; 1714: 33-39.
- Cerni G., Cardone F., Bocci M. Permanent deformation behaviour of unbound recycled mixtures. *Constr Build Mater* 2012; 37: 573–580.
- Çolakoğlu H., Ok B., Sarıcı T. Geri dönüştürülmüş farklı tip inşaat ve yıkıntı atıklarının kompaksiyon özelliklerinin incelenmesi. *Academic Perspective Procedia* 2021; 4(2): 166-176.
- Das BM., Sobhan K. Principles of geotechnical engineering. Eighth Edition. SI, USA: Cengage Learning, Lampiran, 1, 2010.
- Holtz RD., Kovacs WD. Geoteknik mühendisliğine giriş. Çeviri: Erken, A., 2015. Second edition, Nobel Kitabevi, Ankara, 866, 1981.
- Ji X., Lu H., Dai C., Ye Y., Cui Z., Xiong Y. Characterization of properties of soil–rock mixture prepared by the laboratory vibration compaction method. *Sustainability* 2021; 13: 1-18.
- Jimenez JR., Ayuso J., Agrela F., López M., Galvín AP. Utilisation of unbound recycled aggregates from selected CDW in unpaved rural roads. *Resour Conserv Recycl* 2012; 58: 88–97.
- Karayolları Teknik Şartnamesi. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye; 2013.
- Leite FC., Motta RS., Vasconcelos KL., Bernucci L. Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Constr. Build. Mater.* 2011; 25: 2972–2979.
- Mehrjardi GT., Azizi A., Haji-Azizi A., Asdollafardi G. Evaluating and improving the construction and demolition waste technical properties to use in road construction. *Transportation Geotechnics* 2020; 23: 100349.

- Molenaar AA., van Niekerk AA. Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials. *Transportation Research Record* 2002; 1787: 73-82.
- Nataatmadja A., Tan YL. Resilient response of recycled concrete road aggregates. *Journal of Transportation Engineering* 2001; 127(5): 450-453.
- Ok B. Geosentetiklerle güçlendirilmiş inşaat ve yıkıntı atığı dolguların statik ve tekrarlı yükler altındaki davranışının incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.
- Ok B., Sarici T., Talaslioglu T., Yildiz A. Geotechnical properties of recycled construction and demolition materials for filling applications. *Transportation Geotechnics* 2020; 24: 100380.
- Park T. Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement. *J Transp Eng.*, 2003; 129: 558–563.
- Poon CS., Chan D. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushedclay brick as unbound road sub-base. *Constr. Build. Mater.* 2006; 20: 578–585.
- Santos ECG., Vilar OM. Use of recycled construction and demolition wastes (RCDW) as backfill of reinforced soil structures. In: *Proceedings of the Fourth European Geosynthetics Conference, EUROGEO 4*, September 7–10, Edinburg, Scotland; 2008.
- Sarıcı T. Puzolan ile güçlendirilmiş inşaat ve yıkıntı atıklarının granüler dolgu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2019.
- Sivakumar V., McKinley JD., Ferguson D. Reuse of construction waste: Performance under repeated loading. *Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.* 2004; 157: 91–96.
- TS 2824 EN 1338. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli Şartlar ve Deney 176 Metotları. TSE, Ankara, 2005.
- TS EN 12390-3. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. 2010. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Vieira CS., Pereira PM. Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resour Conserv Recycl* 2015; 103: 192–204.
- Yaghoubi E., Disfani MM., Arulrajah A., Kodikara J. Impact of compaction method on mechanical characteristics of unbound granular recycled materials. *Road Materials and Pavement Design* 2018; 19(4): 912-934.
- Zvonaric M., Barišic I., Galic M., Minažek K. Influence of laboratory compaction method on compaction and strength characteristics of unbound and cement-bound mixtures. *Appl. Sci.* 2021; 11: 1-12.

Damıtma Sistemlerinde Absorbsiyonlu Soğutma Çevrimlerinin Kullanımının Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Sistem Tasarımı

Doğan Burak SAYDAM¹, Ertaç HÜRDOĞAN^{2*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, 80000, Osmaniye, Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-1054-9964>

²<https://orcid.org/0000-0001-8453-2917>

*Sorumlu yazar: ehurdogan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.06.2022

Kabul tarihi:22.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Damıtma

Yenilenebilir enerji

Atık ısı

Absorbsiyonlu soğutma

Küresel ısınmanın etkilerinin çok daha fazla hissedildiği günümüzde, kuraklık en önemli problemlerden biridir. İklimdeki değişkenlikler, yağış miktarındaki azalma, şehirleşmenin fazla olması, nüfus artışına bağlı olarak su talebinin artması, ormanlık ve yeşil alanların azalması, kuraklığın şiddetli olarak görülmesine neden olmaktadır. Dünya üzerindeki suyun çok büyük bir kısmının deniz suyu, geri kalan kısmının ise insanlar tarafından değerlendirilebilecek su olduğu bilinmektedir. Kuraklığın etkilerinin azaltılmasına yönelik ele alınması ve geliştirilmesi gereken önemli konulardan biri, tuzlu suyun temiz suya dönüştürülmesinde kullanılan damıtma sistemleridir. Bu çalışmada öncelikle damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin (AS) kullanımı ve damıtma sistemlerinde elde edilecek temiz su miktarı ve kazanç çıkış oranı gibi performans kriterlerine etkisi literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, atık ısı ve güneş enerjisi gibi kaynakların değerlendirildiği AS'nin damıtma sistemlerinde kullanımı ile geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre daha yüksek performans elde edilebileceği görülmüştür. Bu değerlendirmeler sonucunda AS'nin kullanıldığı yeni bir damıtma sistemi tasarımı yapılarak çalışmada sunulmuştur.

Evaluation of the Usage of Absorption Refrigeration Cycles in Desalination Systems and Design of a New System

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.06.2022

Accepted: 22.08.2022

Published online:12.12.2022

Keywords:

Desalination

Renewable energy

Waste heat

Absorption cooling

Today, where global warming is felt much more, drought is one of the most critical problems. Changes in climate, decrease in precipitation, high urbanization, increase in water demand due to population growth, and decrease in forest and green areas cause severe drought. It is known that most of the water on Earth is seawater, and the rest is water that humans can utilize. Therefore, one essential issue that needs to be addressed and developed to reduce the effects of drought is the distillation systems used to convert salt water into clean water. This study firstly examines the usage of absorption refrigeration cycles (AC) in desalination systems and their effect on performance criteria, such as the amount of clean water obtained in these systems and the gained output ratio, considering the studies in the literature. As a result of the study, it has been seen that it can achieve higher performance with the use of AC in desalination systems, where resources such as waste heat and solar energy are evaluated, compared to traditional solar desalination systems. As a result of these evaluations, a new desalination system using AS was designed and presented in the study.

1.Giriş

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve gelişen sanayinin bir sonucu olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı her geçen gün artmaktadır. Bugün küresel enerji tüketiminin %76'sı petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Mevcut teknoloji seviyesi ve yapılan tahminler 2050 yılında toplam dünya enerji talebinin %70'inin fosil yakıtlarla karşılanmaya devam edeceğini göstermektedir. Ancak fosil kaynakların yenilenemez oluşu ve çevreyi kirletebilmesi, son yıllarda yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının önemini ortaya koymuştur (Bayazıt, 2021). İnsan faaliyetleri kaynaklı olarak küresel sıcaklık, sanayi devriminden bu yana 1°C artmış ve bu sıcaklığın 2030 ile 2050 yılları arasında 1,5°C'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. İklimin, hidrolojik döngüyü kontrol eden çok önemli bir faktör olmasından dolayı iklim değişikliğinin olası etkileri endişe verici düzeydedir (Aykut, 2021). Küresel ısınmanın sonuçlarından biri, buzul erimelerine ek olarak okyanus sınırlarının genişlemesi nedeniyle deniz seviyelerinin yükselmesidir. Deniz seviyesindeki artışın 2100 yılında yaklaşık 1 metre olması beklenmektedir. Bu durum özellikle kıyı akiferlerine (yeraltı su tabakası) tuzlu su girmesine neden olacaktır (Şen, 2015). Tatlı su kaynaklarının tahrip olmasının yanı sıra, küresel ısınma ve artan iklim değişikliği, dünyada özellikle orta ve yüksek enlemlerde yer alan birçok nehir havzasında kuraklık olayına yol açmıştır. Bunun yanı sıra küresel sıcaklıktaki artış, dünya çapında kuraklık oluşumunun karmaşıklığını ve ciddiyetini daha da kötüleştirmektedir. Dünya genelinde kuraklık oluşumu doğal afetlerin yaklaşık %5'ini oluştururken, kuraklık küresel nüfusun %30'unu etkilemektedir (Lu ve ark., 2017; Lu ve ark., 2019; Santos ve ark., 2021). Kuraklık ve sel olaylarının ana nedenleri, yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerdeki kısa vadeli iklim değişiklikleri ve uzun vadeli (onlarca yıllık) iklim değişikliği etkileridir (Şen, 2015). Kuraklık, en yıkıcı ve geniş kapsamlı felaketlerden biridir ve tarımsal üretim, ekonomik kalkınma ve insan geçim kaynakları üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Son yıllarda, dünyadaki birçok ülke, aşırı derecede şiddetli kuraklık olaylarından kaynaklanan büyük maddi hasar yaşamaktadır (Wu ve ark., 2021).

İklim, su ve insan faaliyetleri birbirine sıkı sıkıya bağlıdır. Bu birliktelikte yaşanabilecek büyük ölçekli değişkenlikler, özellikle su güvenliğini dünya çapında önemli bir konu haline getirmektedir (Mishra ve ark., 2020). Dünya nüfusu 20.yüzyılda üç kat artarken su kullanımı ise altı kat artmıştır (Delipınar ve Karpuzcu 2017). Dünya nüfusunun yaklaşık %36'sı suyun kıt olduğu bölgelerde yaşamaktadır. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yarısından fazlasının su kıtlığı riski altında olacağı bildirilmektedir (Kharraz ve ark., 2022). Yeryüzünde mevcut su miktarının tamamının 1.41 km³ olduğu hesaplanmıştır. Su kaynağının %90'lık bölümünün yüksek tuzluluk oranında denizlerde bulunduğu ve insan kullanımına elverişli olmadığı bilinmektedir. Mevcut suyun kalan %6'lık bölümünü katı halde buzullar ve %4'lük kısmını ise göletler, göller, nehirler ve yeraltı suları oluşturmaktadır. Kullanılabilir mevcut suyun patojenler ve zararlı bakteriler içermesinden dolayı

doğrudan tüketilmesi tavsiye edilmemektedir. Bu tür kirli suların kullanılması tifo, kolera, ishal ve sıtma gibi ciddi hastalıklara neden olmakta ve kirli su kullanımı her yıl 4 milyon insanı öldürmektedir (Bhardwaj ve ark., 2013; Zhang 2018; Naveenkumar, 2020). Su insanın hayati fonksiyonlarının sürdürülebilirliği açısından temel bir besin kaynağıdır. Kullanılabilir iki ana su kaynağı bulunmaktadır. Birincisi yeraltı su kaynakları, ikincisi ise yüzey suyu (nehir, dere, baraj, göl, gölet vb.) kaynaklarıdır. Fakat içme suyu kaynakları, insan nüfusundaki hızlı artış, kentleşme ve endüstriyel büyümenin bir sonucu olarak hızla kirlenmektedir. Su kirliliği, insan sağlığı için iyi olmayan nitelsiz, düşük kaliteli su anlamına gelmektedir (Turhan, 2019). Su mevcudiyeti genellikle depolanmış su (barajlar ve akiferler) kullanımı ve yeni su kaynakları, özellikle yeraltı suları ve tuzdan arındırılmış, acı su veya geri kazanılmış atık sular vasıtasıyla artırılmaktadır (Berbel ve Esteban, 2019).

Literatürde, ülke ve bölgedeki su kıtlığı veya su stresinin tanımlanabilmesi için Falkenmark indeksi kullanılmaktadır (Falkenmark, 1979). Bu indeks kişi başına düşen su miktarına göre oluşturulmuştur. İndekse göre kişi başına düşen su miktarı 1.700 m^3 'ten fazla olması durumunda su sorunu olmayan, $1.700-1.000 \text{ m}^3$ arasında su sıkıntısı olan, $1.000-500 \text{ m}^3$ arasında su kıtlığı olan, 500 m^3 'ten az olması durumunda ise mutlak su kıtlığı olan, olarak tanımlanmaktadır. Mevsim ortalama sıcaklıklarının her geçen yıl yükselmesi, mevsimsel yağış rejimindeki düzensizlikler, yağış miktarındaki azalma ve küresel ısınmanın global ve lokal bazdaki olumsuz etkileri göz önüne alındığında bir takım proaktif çalışmaların gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında, ele alınması ve geliştirilmesi gereken önemli konulardan biri tuzlu suyun temiz suya dönüştürülmesinde kullanılan damıtma sistemleridir.

Damıtma teknolojileri son yıllarda hızla gelişim kaydetmiştir. Tatlı su üretimi için çeşitli karmaşık tuzdan arındırma yöntemleri mevcut olsa da bu teknolojiyi geliştirmek ve tuzdan arındırma maliyetini azaltmak için kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Ticari olarak kabul edilebilir, ekonomik olarak uygulanabilir ve güvenilir tuz giderme işlemleri iki ana yöntemeye dayanmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan termal damıtma yöntemi, faz değişim işlemlerine dayanmakta ve çok aşamalı flaş damıtma (MSF), çok etkili damıtma (MED), güneş havuzu (SS), nemlendirme-nem alma (HDH) ve buhar sıkıştırma (VC) gibi farklı çeşitleri bulunmaktadır. İkinci yöntem olarak membran damıtma yöntemi ise, ters osmoz (RO) ve elektrodializ (ED) işlemlerini içermektedir (Khawaji ve ark., 2008; Khan ve ark., 2018; Xu ve ark., 2019). Isıl enerjiyle çalışan damıtma sistemlerinin önemli performans kriterleri, elde edilen (üretilecek) temiz su miktarı ve performans oranıdır (Gained Output Ratio, GOR). GOR, elde edilen temiz suyu buharlaştırmak için gerekli gizli ısı miktarının, sisteme giren toplam ısı miktarına oranı olarak ifade edilmektedir (Narayan ve ark., 2010). Literatürde damıtma sistemlerinde tatlı su üretim performansının artırılması, sistemde kullanılan ekipmanların verimliliğinin artırılması ile ilgili farklı yeniliklerin yer aldığı çalışmalar bulunmaktadır. Sharshir ve ark., (2016) güneş enerjisi destekli nemlendirme ve nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sisteminin performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada

yazarlar sistem verimini artırmak için proses sonucunda açığa çıkan sıcak atık suyun sistemde ön ısıtma işleminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonunda ön ısıtma işleminin GOR değerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Sharshir ve ark., 2016). Faegh ve Shafii (2019), HDH'li bir damıtma sistemine entegre edilen ısı pompasının sistem performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, HDH sistemlerinde yer alan nem alma ünitesini çıkartarak, nem alma işleminde ısı pompasının buharlaştırıcısını (evaporatör), deniz suyunun ısıtılması için ise ısı pompasının yoğusturucu ünitesini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ısı pompası evaporatöründe doyma sıcaklığının artırılmasının, kompresörün daha düşük sıkıştırma işi ile daha yüksek soğutma etkisine yol açtığını ve bu durumun da sistemin GOR değerini artırarak havanın daha fazla neminin alınmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Guo ve ark., (2019), sprey buharlaştırma tankının (SET) bulunduğu yeni bir, çok etkili sprey buharlaştırma damıtma (SE-MED) sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada, değiştirilmiş SET ile %99,86'lık yüksek bir buharlaşma veriminin elde edilebileceğini sonucuna varılmıştır. Kara ve Hürdoğan (2019), toprak ısı değiştiricili güneş enerjisi destekli nemlendirme-nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sistemi tasarlamış ve sistemin performans analizlerini Türkiye'nin güney kıyı şeridinde yer alan şehirlerin iklim koşulları için gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada toprak ısı değiştirici kullanımının sistem performansını arttırdığını tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yazarlar, farklı sistem konfigürasyonları için performans oranı (GOR) ve elde edilen su miktarının sırasıyla 0,519 ile 0,674 ve 8,59-10,18 kg/saat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Huang ve ark. (2020), güneş enerjisi ile çalışan ve ara yüzey buharlaşmasından ilham alarak tasarlanan deniz suyundan tuzun arındırılması için hidrofobik üç katmanlı bir membran ve iki seviyeli yeni bir güneş membranı damıtma (SMD) yapısı kullanan bir sistemin analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda, yeni iki seviyeli SMD yapısının, yoğunlaştırılmış ısıyı etkili bir şekilde yeniden kullandığı, ara yüzey buharlaşması ve buhar taşınması için daha büyük bir sıcaklık farkı sağlandığı ve bunun sonucunda da tatlı su verimliliğinin arttığı görülmüştür. Sadri ve ark., (2018), çok etkili damıtma, ters ozmos ve adsorpsiyon damıtma sistemlerinin birleştirilmesi ile yeni bir hibrit damıtma sistemi tasarlamışlar ve sistemin termodinamik ve ekserjetik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar çalışmada yeni tasarım ile su üretiminin çok etkili distilasyon ve adsorpsiyonlu damıtma sistemlerine göre iki kattan fazla arttığını ve su üretim maliyetlerinin düştüğünü tespit etmişlerdir. Duong ve ark., (2021), Vietnam'da uzak izole bir adada içme suyu temininde kullanılmak üzere pilot bir membran damıtma (MD) sistemini incelemişlerdir. Çalışmada MD sistemlerinde en verimli sistem olarak kabul edilen hava boşluklu membran distilasyonu (AGMD) teknolojisi kullanılmıştır. Yazarlar bu sayede sistemde kullanılan deniz suyu besleme hattında ön ısıtma yaparak pilot sistemin enerji tüketimini azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, önerilen sistem ile Vietnam içme suyu standartlarını karşılayan 46 L/h saf distilat üretebileceğini ve m³ içme suyu başına 20,5 US\$'lık bir üretim maliyetinin açığa çıkacağını öne sürmüşlerdir. Sharon (2021), yeni bir hibrit güneş havuzu (SS) damıtıcısını Hindistan'ın Chennai iklim koşulları altında termodinamik olarak modellemiş ve havzanın düşey yutucuya olan alan oranı,

difüzyon aralığı, havza su derinliği, gölge ve besleme suyu debisinin ünite performansına etkisini tüm aylar için ekserji verimliliği, ekserji yıkımı ve iyileştirme potansiyeli göstergelerini dikkate alarak incelemiştir. Çalışma sonucunda yazar, sistemin yaz mevsimlerinden ziyade kış mevsimlerinde yüksek performans gösterdiğini tespit etmiştir. Çalışmada, optimize edilmiş hibrit güneş enerjili damıtma sisteminin termal ve ekserji verimliliğini sırasıyla %56,17 ve %6,93 olarak hesaplanmıştır. Cao ve ark., (2022), biyokütle gazlaştırıcı, CO₂ döngüsü, soğutma sistemi, çok etkili damıtma (MED) ve elektrodializden oluşan birleşik yeni bir çoklu üretim sistemine sahip damıtma sisteminin enerji, ekserji ve ekonomik açıdan incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında yazarlar, modellenen sistemin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %75,1 ve %88,4 olarak hesaplamış ve en yüksek ve en düşük yok olan ekserjinin sırasıyla sıvılaştırılmış doğal gaz hattında ve elektrodialize ait olduğunu tespit etmişlerdir.

Yukarıda da bir kısmına yer verilen literatürdeki çalışmalara bakıldığında damıtma uygulamalarında sistem performansını artıracak farklı yenilikler ve bütünlük sistemlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu sistemler içerisinde özellikle son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan sistemlerden biri de mekanik buhar sıkıştırma soğutma çevrimlerine alternatif olarak sunulan, düşük sıcaklık uygulamalarında etkin bir şekilde çalışabilme ve çevreci olma özelliğine sahip absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Bu çalışmada, damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımı ve sistem performansına etkisi literatürde yer alan farklı çalışmalar incelenerek değerlendirilmiştir.

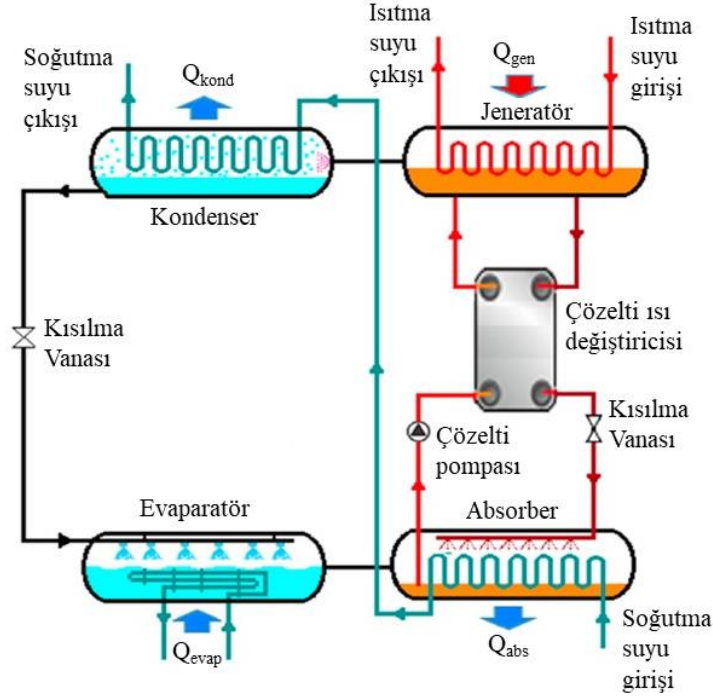
2. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri

Soğutma ve soğutma talebi, küresel enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Buhar sıkıştırma soğutma çevriminin kullanıldığı mekanik soğutma sistemlerinde (MSS), sistemin çalışabilmesi için yüksek enerji girdileri gerekmektedir. MSS'ye alternatif olabilecek ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının uygun olduğu önemli soğutma sistemlerinden biri de absorpsiyonlu soğutma sistemleridir (AS). Güneşe dayalı, termal tahrikli, absorpsiyonlu soğutma sistemleri, çevre dostu ve sürdürülebilir sistemlerdir (Altun ve Kilic 2020). MSS'de itici güç elektrik enerjisi, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ise itici güç termal enerjidir. MSS'deki temel elemanlardan biri olan ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyan kompresörün yerini AS'de termal enerjinin kullanıldığı termik kompresör almaktadır. Termal enerji bu sistemlerde genellikle endüstriyel atık ısıdan, yenilenebilir enerji kaynaklarından veya diğer termal enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir. Güneş enerjisi ve atık ısı dahil olmak üzere düşük sıcaklık değerlerine sahip termal enerjinin kullanımı hem çevreye zararsızdır hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır. Termal olarak tahrik edilen absorpsiyon döngüsü, düşük dereceli termal enerji kullanımı için en popüler seçenekler arasındadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, iş akışkanı olarak ozon tabakasının incelmesine neden olmayan su gibi çevre dostu soğutucu akışkanlar ve doğal maddeler kullanılabilir (Gomri, 2010; Xu ve Wang, 2018). Absorpsiyon sistemleri buhar sıkıştırma sistemlere benzer ancak basınçlandırma aşamasında buhar sıkıştırma sistemlere göre farklılık göstermektedir. Absorpsiyonlu

soğutma sistemlerinde en yaygın akışkan kombinasyonları, su buharının soğutucu olduğu lityum bromür-su ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$) ve amonyakın soğutucu olduğu amonyak-su ($\text{H}_2\text{O-NH}_3$) çözeltileridir (Balgouthi ve ark., 2005). Farklı absorpsiyonlu soğutma sistemleri arasında $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ absorpsiyonlu soğutma grubu en gelişmiş ve ticarileştirilmiş ürün olarak değerlendirilmektedir (Chen ve ark., 2017). Termodinamik olarak literatürde üç tip absorpsiyon sistemi (1-tek etkili, 2-çift etkili, 3-üçlü etkili (değişken)) yer alsada tek etkili ve çift etkili olan sistemlerin kullanımı çok daha yaygındır. Daha yüksek etki döngüsünün temel amacı, yüksek sıcaklıklı ısı kaynağı mevcut olduğunda sistem performansını artırabilmektir. Tek etkili sistemlerde, sıcaklığın 90°C civarında olduğu durumda performans etkinlik katsayısı (COP) 0,7 civarında, çift etkili sistemlerde, sıcaklığın 150°C 'nin üzerine çıkartıldığında COP'nin 1,2 civarında olduğu, üçlü etkili sistemlerde ise bu değer 1,7 olabileceği bildirilmektedir. Tek etkili sistem, COP'si ikili veya üçlü sistemlere göre daha düşük olmasına rağmen diğer sistemlere göre daha ucuz olması ve daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmesinden dolayı genellikle tercih edilmektedir (Gomri, 2010; Sleiti ve ark., 2021).

Şekil 1'de tipik bir tek etkili absorpsiyonlu soğutma çevriminin çalışma prensibi yer almaktadır. Şekilden, buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde yer alan kompresörün yerini soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştiricisi ve kısılma vanasının aldığı görülmektedir. Burada sistemde kullanılan ekipmanlar vasıtasıyla termal prosesler aracılığıyla soğurucu akışkanın basıncı artırılmaktadır. Bir absorpsiyon sistemi, jeneratör (ısıtıcı), yoğunlaştırıcı (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör) ve absorber (soğurucu) olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır. Sistemde, ısı kaynağından gelen sıcak su, buharlaşmak ve su buharını iş akışkanından ayırmak için jeneratör elemanından geçer. Çevrimde dolaşan iş akışkanı buharı buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer burada su içerisinde çözünür ve suyla kimyasal bir reaksiyona girer. Reaksiyon sonucunda bir çözelti oluşmaktadır. Burada gerçekleşen reaksiyon ekzotermiktir ve açığa ısı çıkarır. Soğutucu açısından zengin çözelti, sistemde yer alan bir pompa ile ısı değiştiricisinden geçerek jeneratöre (ısıtıcıya) gönderilir. Jeneratörde, konsantre çözelti bir atık ısı kaynağı veya yenilenebilir enerji vasıtasıyla ısıtılır. Isınan akışkan buhar fazına geçer ve buharlaşarak eriyikten ayrılır. Bu buharlaşma işlemi, iş akışkanının soğutulacak ortamdan ısıyı emmesine ve böylece sıcaklığının düşmesine neden olur. Gerçekleşen tepkime çözelti konsantrasyonunun azalmasına neden olur. İlık seyreltilmiş çözelti, jeneratörü terk eder ve bir kısım işleminden sonra buharlaştırıcı basıncına genişletilen akışkan absorbere geri döner. Genişletilen ve daha sonra düşük sıcaklıkta bir ısı girişi kullanılarak buharlaştırılan akışkanın tepkime sonucunda faydalı soğutma elde edilir. Sistemde absorbe işleminin etkin bir şekilde gerçekleşmesi için açığa çıkan ısının, absorberden atılması gerekmektedir. Sıcak seyreltik çözeltilerden ısıyı geri kazanmak ve konsantre çözeltiyi jeneratöre girmeden önce ön ısıtmak için jeneratör ile emici arasında absorberden kaynatıcıya gönderilen zengin eriyik, ısıtıcıdan dönen fakir eriyik tarafından ısı geçişinin sağlanabilmesi için bir eriyik ısı eşanjörü yerleştirilir. Bu döngü soğutma işlemi sırasında tekrarlanır. Burada sistemin ana itici gücü harici bir termal enerjidir ve çözelti pompasını çalıştırmak için yalnızca minimum miktarda elektrik enerjisi girişi gereklidir. Kondenser ve absorberden salınan ısı, sıcak su

üretmek veya alan ısıtmak için kullanılabilir (Tao ve ark., 2021; Vallès ve ark., 2020; Somers ve ark., 2011; Nikbakhti ve ark., 2020).

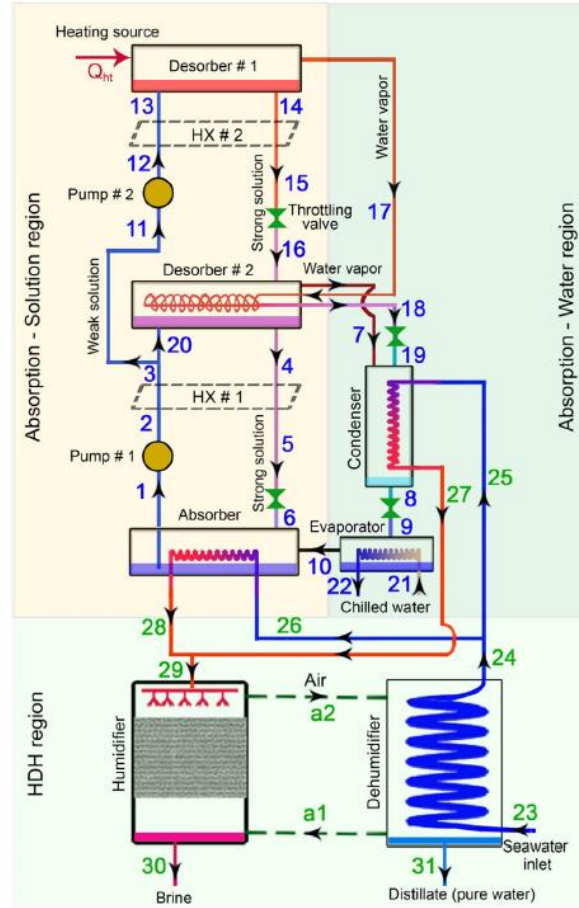


Şekil 1. Absorbsiyonlu soğutma çevriminin şematik gösterimi (Harby ve ark., 2021)

3. Damıtma Uygulamalarında Absorbsiyonlu Soğutma Çevrimleri

Maliyet etkinliğine ve sürdürülebilir tatlı su üretimine katkıda bulunan tuzdan arındırma (damıtma) süreçlerindeki kademeli iyileştirmelere rağmen, geleneksel damıtma tesisleri, tesisin yüksek enerji (birincil veya elektrik) girdileri ve buna bağlı çevresel emisyonlar, membranların ve sistem bileşenlerinin aşınması ve tıkanması, tesisin dış yüzeylerinde tuz birikmesinden veya kirlenmesinden kaynaklanan yüksek bakım maliyetleri gibi üç ana dezavantaja sahiptirler (Wang ve Ng, 2005). Geleneksel damıtma tesislerindeki bakım ve işçilik maliyetleri göz önüne alındığında, damıtma sistemlerine entegre yeni ve yenilikçi çözümlerin getirilmesi gerekliliği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Bazı damıtma uygulamalarında sistemde termodinamik proseslerin gerçekleştirilebilmesi için girdi olarak kullanılan termal enerjinin gereksinimi mekanik güç kullanımıyla sağlanabilmektedir. Mekanik gücün yerine termal enerjinin farklı alternatif kaynaklar (yenilebilir enerji, atık ısı vb.) ile karşılanması sistemde performans artışı sağlayacak ve enerji girdilerini azaltacaktır. Örneğin damıtma uygulamalarında sıklıkla kullanılan çok etkili damıtma düşük dereceli termal enerjiyle çalıştırılabilen yüksek termal verimliliğe sahip kanıtlanmış teknoloji olmasına rağmen, tuzu tuzlu sudan ayırmak için hala önemli miktarda termal enerjiye ihtiyaç duyar (Mohammadi ve McGowan, 2018). Benzer durum ile nemlendirme ve nem alma (HDH) teknolojisinin kullanıldığı damıtma sistemlerinde de karşılaşılmaktadır. HDH tuzdan arındırma sistemlerinin nispeten düşük GOR'u nedeniyle, diğer tuzdan arındırma teknolojileriyle uygun kombinasyonla HDH

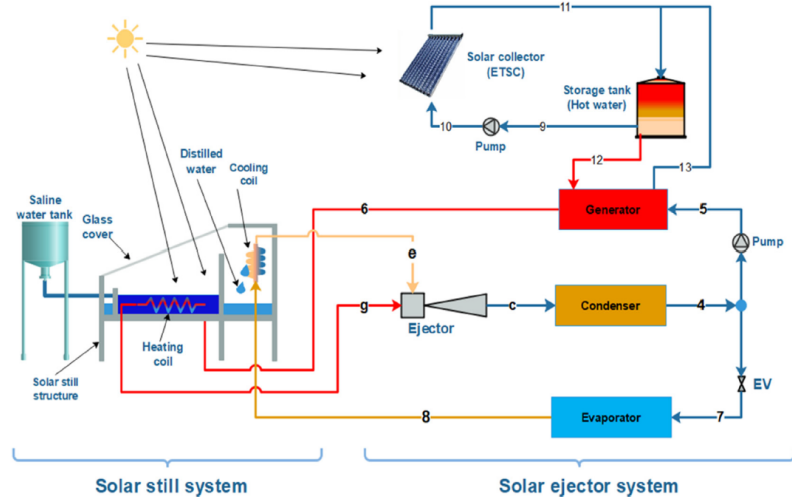
tuzdan arındırma sistemlerinin performans artışı sağlanabilecektir (Rostamzadeh ve ark., 2018). Damıtma teknolojileri içerisinde farklı birçok yöntem ve proses yer alsa da termal enerji gereksinimi, yoğunlaşma kapasitesinin artırılabilirliği, tuzlu suyun ön ısıtılması ve yüksek sıcaklık kriterlerini sağlama için absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin son yıllarda damıtma sistemlerine entegre edilmesi güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, Wang ve Lior (2011a, 2011b), bir LiBr–H₂O çözelteli soğutma ünitesinin, bir LiBr–H₂O ısı pompasının entegrasyonu ile oluşturulan absorpsiyonlu, ısı pompası ve çok etkili buharlaştırma yöntemi ile tuzdan arındırma (damıtma) ünitesi önermiş ve matematiksel modellemelerini gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan birleşik sistem, düşük dereceli ısı ile tahrik edilir olması ve aynı miktardaki ürünü (temiz su) ayırık sistemlerden daha verimli bir şekilde üretebiliyor olması ile alternatiflerine göre ön plana çıkartmaktadır. İki bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde yazarlar, yapılan model tahminlerini literatürde yer alan çalışmalar ile kıyaslamış ve kıyaslama sonucunda elde edilen sonuçların literatür ile uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise sistemin termal performans analizleri gerçekleştirilmiş ve sistemin 0,25 MPa doymuş buharla çalıştığı durumda performans katsayısının 1,6 civarında ve ekserji verimliliğinin ise %60'ın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Qasem ve ark., (2020), tatlı su üretimi ve iklimlendirme amaçlı kullanılmak üzere çift etkili bir absorpsiyonlu soğutma sistemine entegre yeni bir nemlendirme-nem alma teknolojisine sahip bir damıtma sisteminin (Şekil 2) GOR, COP, enerji performansı, tatlı su üretimi ve tatlı su maliyetlerini incelemişlerdir. Tasarlanan sistemde nem alıcı ünitesinden geçirilen deniz suyu, yoğunlaştırıcı ve absorber ünitelerine gönderilerek ısıtılmaktadır. Burada iki farklı noktada ısınan akışkan nemlendirici ünitesi girişinde birleştirilerek nemlendirme-nem alma ünitesi arasında sirküle edilen havaya püskürtülmektedir. HDH sistemindeki deniz suyu akışı, HDH sistemi için yeterli bir ısı elde ederken, absorpsiyonlu soğutma sisteminin kondenserini ve absorberini soğutmak için kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda yazarlar, sistemin performans oranı, performans katsayısı ve enerji performansını sırası ile 4,54, 1,29 ve 5,83 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca çalışmada yazarlar, tatlı su maliyetini soğutma etkisini hesaba katmadan 2,89 \$/m³ olduğu tahmin etmişlerdir.



Şekil 2. Tasarlanan damıtma sisteminin şematik çizimi (Qasem ve ark., 2020)

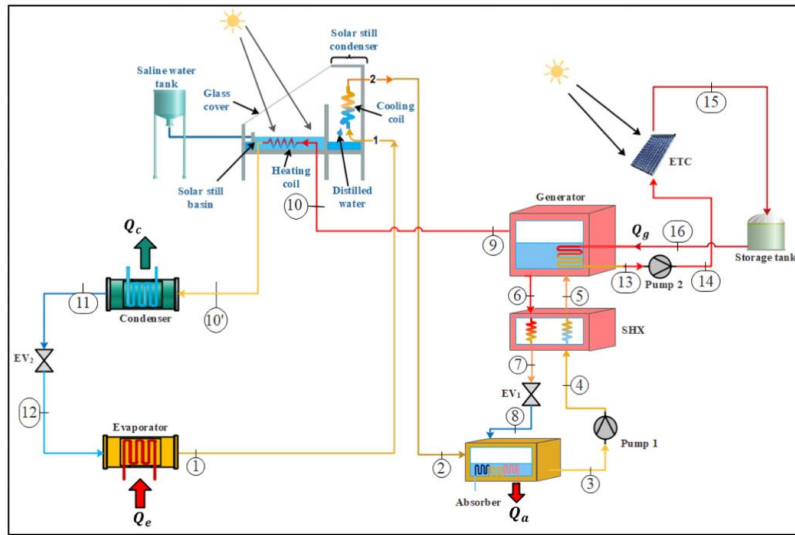
Alelyani ve ark., (2017), çok etkili bir damıtma (MED) sistemine, tek ve çift aşamalı amonyak-su ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) çözeltisine sahip bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin entegre edilmesini incelemişlerdir. Çalışmada sistemin soğutma kapasitesi ve saatlik su üretimi, sistemi oluşturan bileşenlerin her biri için basit modeller kullanarak farklı çalışma koşullarında ele alınmıştır. Tasarlanan sistemde deniz suyunun absorpsiyonlu soğutma çevriminde kondenserden (yoğusturucu) çıkan soğutulmuş akışkan ile karıştırılarak soğutulması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, tek veya çift kademeli bir $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ soğutma sistemi tarafından çalıştırılan bir MED ünitesinden oluşan birleşik sistemlerin toplam ekserji yıkımının, bağımsız $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ soğutma sistemleri ile karşılaştırıldığında ortalama %55 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sleiti ve ark. (2020), sıcak ve kurak iklim bölgelerindeki yüksek soğutma ve tatlı su talebinin karşılanabilmesi için yeni bir damıtma sisteminin (Şekil 3) kütle, momentum ve enerji korunumuna dayalı bir termodinamik modeli geliştirerek sistemin performansını incelemişlerdir. Yazarlar tarafından tasarlanan sistem, tek eğimli solar damıtma sistemi ile entegre bir güneş enerjili ejektörlü soğutma sisteminden oluşmaktadır. Sistemde absorpsiyonlu soğutma çevrimi, akışkanın yüksek sıcaklığa çıkarıldığı jeneratör (ısıtıcı) ünitesinden elde edilen sıcak akışkan ile güneş enerjili damıtıcı içerisindeki tuzlu suyun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Tasarlanan yeni sistem ile yazarlar buharlaşma oranının artırılması ile yoğuşma hızının arttığını tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda

tasarlanan sistemin üretim performansının geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre beş kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

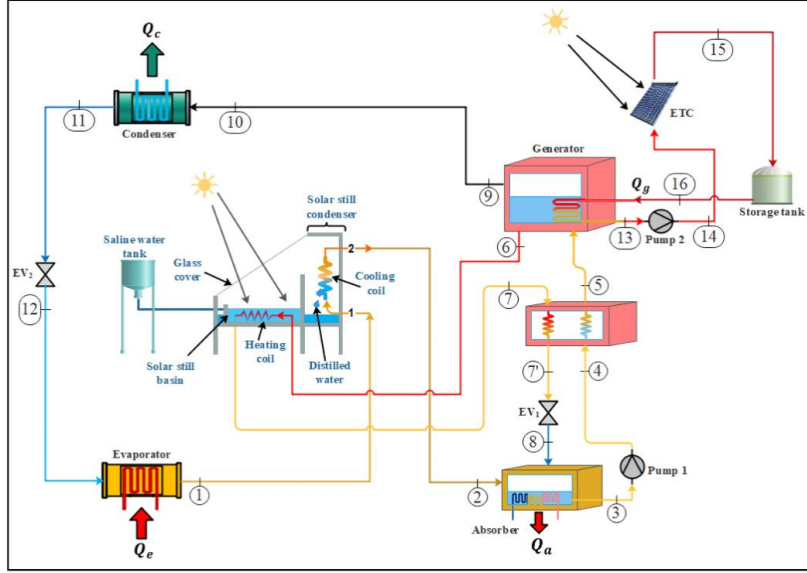


Şekil 3. Önerilen sistemin şematik diyagramı (Sleiti ve ark., 2020)

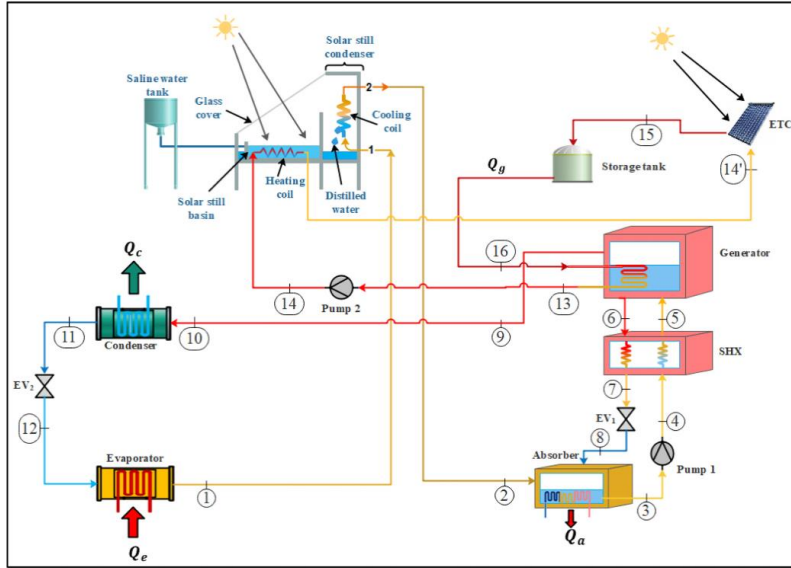
Sleiti ve ark., (2021), tek etkili absorpsiyonlu güneş enerji destekli bir yeni bir hibrit damıtma sistemi tasarlayarak sistemin analiz ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yazarlar, jeneratörden çıkan su buharından atık ısının geri kazanıldığı (S1/Şekil 4-a), jeneratörden çıkan güçlü lityum bromür çözeltisinden atık ısının geri kazanıldığı (S2/Şekil 4-b) ve jeneratörden çıkan sıcak sıvı sudan atık ısının geri kazanıldığı (S3/ Şekil 4-c) üç farklı konfigürasyonun sistem performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yazarlar, damıtma sisteminin üretkenliğinin geleneksel sistemlere kıyasla üç kat arttığını belirlemişlerdir. Tasarlanan sistemdeki farklı konfigürasyonların su üretim maliyetleri kıyaslandığında S3'teki (0,047 \$/kg) damıtılmış suyun maliyetinin S2 (0,054 \$/kg) ve S1'dekine (0,061 \$/kg) göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



(a)



(b)

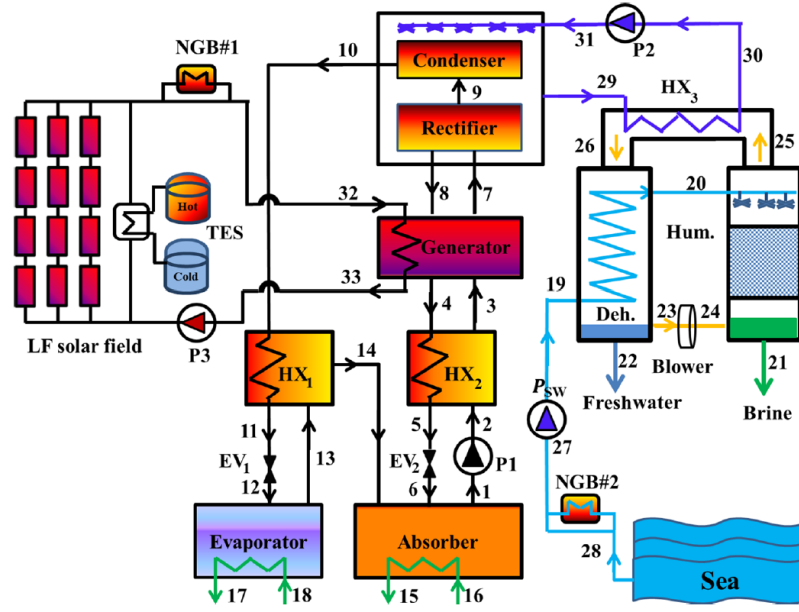


(c)

Şekil 4. Önerilen sistemlerin şematik diyagramı (Konfigürasyon S1 (a), Konfigürasyon S2 (b) ve Konfigürasyon S3 (c) (Sleiti ve ark., 2021))

Baniasad Askari ve ark., (2022), nemlendirme ve nem alma teknolojisine entegre termal enerji depolamalı güneş enerjisi ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemine sahip bir damıtma sistemini (Şekil 5) termo-ekonomik açıdan farklı iklim koşullarında incelemiştir. Tasarlanan sistemde jeneratörde ısıtılan amonyak-su karışımı kondenser ünitesine gönderilerek burada elde edilen termal enerji, HDH sisteminde dolaşan sirkülasyon suyuna iletilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar neticesinde yazarlar, yüksek güneş ışınımı seviyelerine sahip konumların daha küçük güneş tarlası alanları ve daha büyük termal enerji depolama kapasiteleri gerektirdiğini açığa çıkartmışlardır. Çalışmada minimum ve maksimum soğutma maliyeti, %5 faiz oranında Abu Dabi ve

Atina için sırasıyla 0,135 \$/ton ve 0,387 \$/ton olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yazarlar nem alıcının etkinliğinin 0,8'den 0,9'a yükseltilmesiyle, GOR değerinde yaklaşık %33 oranında bir artış sağlanabileceğini ve tatlı su üretim maliyetinin %15 azalabileceğini tespit etmişlerdir.

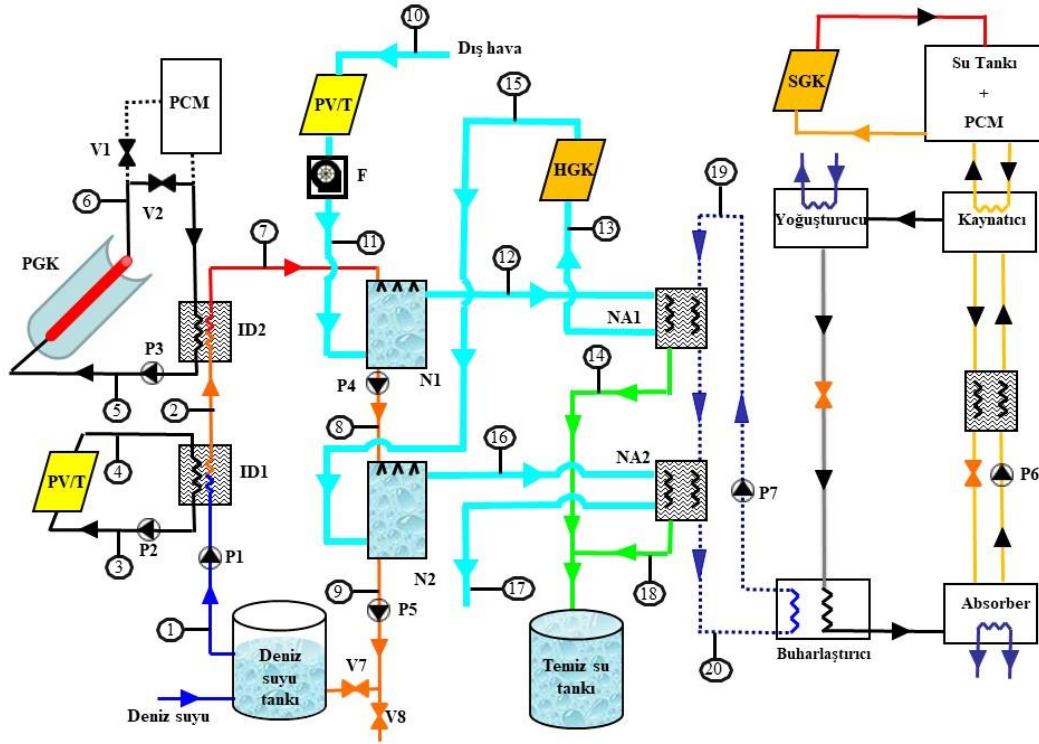


Şekil 5. Önerilen sistemin şematik diyagramı (Baniasad Askari ve ark., 2022)

5. Sistem Tanımı

Yapılan değerlendirme ve incelemeler neticesinde özellikle nemlendirme ve nem alma teknolojisinin kullanıldığı damıtma sistemlerinde yoğuşma kapasitesinin artırılması amacıyla soğutma suyu elde edilmesinde absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin kullanımının geliştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan literatür taramasında konu ile ilgili çok sayıda araştırma mevcut olmasına rağmen, absorpsiyonlu soğutma çevrimi (AS), fotovoltaik termal panel (PV/T), havalı ve sulu güneş kolektörü (HGK, SGK), parabolik ısı borulu güneş kolektörü ve PCM'li ısı enerji deposunun birlikte incelendiği iki kademeli bir HDH'li damıtma sistemi tasarımına rastlanmamıştır. Çalışmanın ana motivasyon kaynağını da bu durum teşkil etmektedir. Bu amaç ile nemlendirme ve nem alma teknolojisine sahip, güneş enerji destekli, absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanıldığı ve faz değıştirici malzemelerle gizli ısı depolamasının yapıldığı yeni birleşik bir damıtma sistemi tasarlanmıştır. Şekil 6'da tasarlanan damıtma sisteminin şematik diyagramı verilmiştir. Sistem, güneş kolektörleri (PV/T, Parabolik, Havalı, Sulu), ısı değıştiricileri, nemlendiriciler (su kulesi, buharlaştırıcı), nem alıcılar (yoğuşturucu), absorpsiyonlu soğutma çevrimi, fan-pompalar, ısı enerji deposu ve deniz ve temiz su depolarından oluşmaktadır. Deniz suyu deposundan pompayla alınan karışım deniz suyu (1 noktası) öncelikle ısı değıştiricisi I'de (ID1) PV/T'den gelen sıcak su (3 noktası) ile ön ısıtma işlemine tabii tutulmaktadır (1→2). Sistemde PV/T kullanılmasının sebebi hem deniz suyunun ön ısıtma işlemini gerçekleştirmek hem de sistemde sirkülasyon için kullanılan fan ve pompaların elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmektir.

PV panelin su ile soğutulmasıyla (3→4) panelin elektriksel veriminde artış sağlanabilecektir. Deniz suyu daha sonra ilk nemlendiriciye (su kulesi, N1) girmeden önce (7 noktası) parabolik güneş kolektörleriyle ısıtılan su (6 noktası) ile ısı değiştiricisi II'de (ID2) yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmaktadır. Sistemde, güneş enerjisinin yeterli olmadığı günlerde veya ışınımın olmadığı akşam saatlerinde temiz su üretiminin devam edebilmesi amacıyla faz değiştiren maddelerin (PCM) kullanıldığı bir ısı enerjisi deposu (IED) yer almaktadır. Parabolik güneş kolektörüyle ısıtılan su hem deniz suyunun ısıtılmasında hem de PCM ile enerji depolanmasında kullanılmaktadır. Sıcaklığı yükselmiş deniz suyu (7 noktası) daha sonra N1'de, fan yardımıyla dışarıdan (10 noktası) alınıp havalı güneş kolektörü (HGK) ile ısıtılan havanın (11 noktası) nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. Tasarlanan damıtma sisteminde nemlendirme-nem alma işlemi iki kademedede gerçekleştirilmektedir. N1'den çıkan deniz suyu (8 noktası), N2'de yine havanın nemlendirilmesinde kullanılmaktadır. N2'den çıkan deniz suyu (9 noktası), daha sonra enerji geri kazanımı amacıyla değerlendirilebilmek ve tuzluluk oranının ayarlanabilmesi amacıyla deniz suyu deposuna gönderilmektedir. N1'den çıkan nemli hava (12 noktası) ilk olarak nem alıcı 1'e (NA1) gönderilmektedir. Burada hava içerisindeki nem, absorpsiyonlu soğutma çevrimi (AS) ile soğutulan su (19 noktası) kullanılarak yoğunlaştırılmakta ve temiz su olarak (14 noktası) depoda toplanmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma çevriminde kaynatıcıya sıcak akışkan sağlamak için bir sulu güneş kolektörü (SGK) kullanılmaktadır. Sistemde ayrıca akşam saatlerinde çevrimin sürdürülebilmesi için faz değiştiren maddelerin (PCM) kullanıldığı ısı enerjisi deposuna (IED) sahip bir sıcak su deposu yer almaktadır. Burada güneş kolektöründen çıkan sıcak akışkan, sıcak su tankında depolanmakta ve kaynatıcıya iletilmektedir. Nem alıcıda elde edilebilecek temiz su (yoğuşan nem) miktarı, nem alıcıya giren su (19 noktası) sıcaklığına bağlıdır. Su ne kadar soğuk ise elde edilebilecek temiz su miktarı da o kadar fazla olmaktadır. NA1 çıkışındaki hava (13 noktası), daha sonra HGK'da ısıtılarak (15 noktası) N2'ye gönderilmek ve burada deniz suyu ile bir kez daha nemlendirilmektedir. Hava (16 noktası) son olarak NA2'ye gönderilerek burada içerisindeki nem yoğunlaştırılmakta ve sistemi terk etmektedir (17 noktası). Nem alıcı 1 (NA1) ve Nem alıcı 2'den (NA1) çıkan akışkan soğutma suyu, absorpsiyonlu soğutma çevriminde tekrar kullanılmak üzere (20 noktası) sistemde yer alan buharlaştırıcıya gönderilmektedir.



Şekil 6. Tasarlanan yeni damıtma sistemin şematik diyagramı

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, öncelikle damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinin (AS) kullanımı ve mevcut damıtma sistemlerine göre temiz su miktarı ve sistem performansına etkileri literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerden damıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanımı ile nemlendirme-nem alma (HDH) ünitesi arasında sirküle edilen havaya aktarılarak yoğuşma kapasitesinin artırılabilirliği, kondenserden çıkan soğutulmuş akışkan ile deniz suyunun karıştırılarak soğutulabilirliği, absorber ünitesinde ısısı çekilen düşük sıcaklıktaki akışkanın nem alıcı ünitesinden geçirilerek yoğuşma kapasitesinin artırıldığı, jeneratör (ısıtıcı) ünitesinden çıkan sıcak akışkan ile güneş enerjili damıtıcı içerisindeki tuzlu suyun ısıtıldığı ve böylece buharlaşma ısısının da absorpsiyonlu soğutma çevrimi ile yükseltilebilirliği, yine jeneratörden çıkan sıcak akışkandan ısı geri kazanımının gerçekleştirilerek damıtma performansının artırılabilirliği görülmüştür. Çalışma sonucunda, absorpsiyonlu soğutma çevriminin kullanıldığı damıtma sistemlerinin geleneksel güneş enerjili damıtma sistemlerine göre daha yüksek performansa sahip olduğu görülmüş ayrıca bu çevrimin özellikle HDH'li damıtma sistemlerinde soğutma suyu elde edilmesinde kullanımının geliştirilmesi gereken bir çalışma alanı olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlendirmeler kapsamında çalışmada daha sonra yazarlar tarafından AS'nin kullanıldığı alternatif bir damıtma sistemi tasarlanarak sistem tanıtımı yapılmıştır. Yazarlar tarafından gerçekleştirilecek sonraki çalışmalarda tasarlanan sistemin enerji, ekserji ve ekonomik analizlerinin yapılması planlanmaktadır.

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

- Alelyani SM., Fette NW., Stechel EB., Doron P., Phelan PE. Techno-economic analysis of combined ammonia-water absorption refrigeration and desalination. *Energy Conversion and Management* 2017; 143: 493-504.
- Altun AF., Kilic M. Economic feasibility analysis with the parametric dynamic simulation of a single effect solar absorption cooling system for various climatic regions in Turkey. *Renewable Energy* 2020; 152: 75-93.
- Aykut T. Determination of groundwater potential zones using Geographical Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) between Edirne-Kalkansogut (northwestern Turkey). *Groundwater for Sustainable Development* 2021; 12: 100545.
- Balghouthi M., Chahbani MH., Guizani A. Solar powered air conditioning as a solution to reduce environmental pollution in Tunisia. *Desalination* 2005; 185(1-3): 105-110.
- Baniasad Askari I., Ghazizade-Ahsaei H., Ameri M. Thermo-economic analysis of a solar-powered absorption refrigeration integrated with a humidification–dehumidification desalination. *Environment, Development and Sustainability* 2022; 24(5): 6153-6196.
- Bayazit Y. The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam. Turkey. *Renewable Energy* 2021; 170: 181-187.
- Berbel J., Esteban E. Droughts as a catalyst for water policy change. Analysis of Spain, Australia (MDB), and California. *Global Environmental Change* 2019; 58: 101969.
- Bhardwaj R., Ten Kortenaar MV., Mudde RF. Influence of condensation surface on solar distillation. *Desalination* 2013; 326: 37-45.
- Cao Y., Kasaeian M., Abbasspoor H., Shamoushaki M., Ehyaei MA., Abanades S. Energy, exergy, and economic analyses of a novel biomass-based multigeneration system integrated with multi-effect distillation, electro dialysis, and LNG tank. *Desalination* 2022; 526: 115550.
- Chen JF., Dai YJ., Wang RZ. Experimental and analytical study on an air-cooled single effect LiBr-H₂O absorption chiller driven by evacuated glass tube solar collector for cooling application in residential buildings. *Solar Energy* 2017; 151: 110-118.
- Delipinar Ş., Karpuzcu M. Policy, legislative and institutional assessments for integrated river basin management in Turkey. *Environmental Science & Policy* 2017; 72: 20-29.

- Duong HC., Tran LTT., Truong HT., Nelemans B. Seawater membrane distillation desalination for potable water provision on remote islands– A case study in Vietnam. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2021; 4: 100110.
- Falkenmark M. Main problems of water use and transfer of technology. *GeoJournal* 1979; 3(5): 435-443.
- Gomri R. Investigation of the potential of application of single effect and multiple effect absorption cooling systems. *Energy Conversion and Management* 2010; 51(8): 1629-1636.
- Guo P., Li T., Li P., Zhai Y., Li J. Study on a novel spray-evaporation multi-effect distillation desalination system. *Desalination* 2020; 473: 114195.
- Harby K., Ali ES., Almohammadi KM. A novel combined reverse osmosis and hybrid absorption desalination-cooling system to increase overall water recovery and energy efficiency. *Journal of Cleaner Production* 2021; 287: 125014.
- Huang J., Hu Y., Bai Y., He Y., Zhu J. Novel solar membrane distillation enabled by a PDMS/CNT/PVDF membrane with localized heating. *Desalination* 2020; 489: 114529.
- Kara O., Hürdoğan E. Thermodynamic analysis of a novel desalination system assisted with ground source heat exchanger. *Energy Conversion and Management* 2019; 200: 112104.
- Khan MA., Rehman S., Al-Sulaiman FA. A hybrid renewable energy system as a potential energy source for water desalination using reverse osmosis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 97: 456-477.
- Kharraz JA., Khanzada NK., Farid MU., Kim J., Jeong S., An AK. Membrane distillation bioreactor (MDBR) for wastewater treatment, water reuse, and resource recovery: A review. *Journal of Water Process Engineering* 2002; 47, 102687.
- Khawaji AD., Kutubkhanah IK., Wie JM. Advances in seawater desalination Technologies. *Desalination* 2008; 221(1-3): 47-69.
- Lu H., Wu Y., Li Y., Liu Y. Effects of meteorological droughts on agricultural water resources in southern China. *Journal of Hydrology* 2017; 548: 419-435.
- Lu Y., Cai H., Jiang T., Sun S., Wang Y., Zhao J., Sun J. Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology* 2019; 278: 107623.
- Mishra A., Alnahit A., Campbell B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A Review and Analysis. *Journal of Hydrology* 2020; 125707.
- Mohammadi K., McGowan JG. An efficient integrated trigeneration system for the production of dual temperature cooling and fresh water: Thermo-economic analysis and optimization. *Applied Thermal Engineering* 2018; 145: 652-666.

- Narayan GP., Sharqawy MH., Lienhard VJH., Zubair SM. Thermodynamic analysis of humidification dehumidification desalination cycles. *Desalination and Water Treatment* 2010; 16(1-3): 339-353.
- Naveenkumar R., Gopan SN., Karthikeyan N., Kumar PS., Ravichandran M. A comparative study on role of phase change materials in thermal efficiency enhancement of passive solar still". *Materials Today: Proceedings* 2020; 33: 4159-4162.
- Nikbakhti R., Wang X., Hussein AK., Iranmanesh A. Absorption cooling systems–Review of various techniques for energy performance enhancement. *Alexandria Engineering Journal* 2020; 59(2): 707-738.
- Qasem NA., Zubair SM., Abdallah AM., Elbassoussi MH., Ahmed MA. Novel and efficient integration of a humidification-dehumidification desalination system with an absorption refrigeration system. *Applied Energy* 2020; 263: 114659.
- Rostamzadeh H., Namin AS., Ghaebi H., Amidpour M. Performance assessment and optimization of a humidification dehumidification (HDH) system driven by absorption-compression heat pump cycle. *Desalination* 2018; 447: 84-101.
- Sadri S., Khoshkhoo RH., Ameri M. Optimum exergoeconomic modeling of novel hybrid desalination system (MEDAD+ RO). *Energy* 2018; 149: 74-83.
- Santos CAG., Neto RMB., do Nascimento TVM., da Silva RM., Mishra M., Frade TG. Geospatial drought severity analysis based on PERSIANN-CDR-estimated rainfall data for Odisha state in India (1983–2018). *Science of The Total Environment* 2021; 750: 141258.
- Sharon H. Energy, exergy, environmental benefits and economic aspects of novel hybrid solar still for sustainable water distillation. *Process Safety and Environmental Protection* 2021; 150: 1-21.
- Sharshir SW., Peng G., Yang N., El-Samadony MOA., Kabeel AE. A continuous desalination system using humidification–dehumidification and a solar still with an evacuated solar water heater. *Applied Thermal Engineering* 2016; 104: 734-742.
- Sleiti AK., Al-Ammari WA., Al-Khawaja M. A novel solar integrated distillation and cooling system–design and analysis. *Solar Energy* 2020; 206: 68-83.
- Sleiti AK., Al-Ammari WA., Al-Khawaja M. Integrated novel solar distillation and solar single-effect absorption systems. *Desalination* 2021; 507: 115032.
- Somers C., Mortazavi A., Hwang Y., Radermacher R., Rodgers P., Al-Hashimi S. Modeling water/lithium bromide absorption chillers in ASPEN Plus. *Applied Energy* 2011; 88(11): 4197-4205.
- Şen Z. Climate change, droughts, and water resources. in: *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation*. Elsevier 2015; 321–391.
- Tao H., Zheng Z., Wu W. Cascade heat utilisation via integrated organic Rankine cycle and compressor-assisted absorption heat pump system. *Energy Conversion and Management* 2021; 249: 114850.

- Turhan Ş., Zriba NAEM., Taşkın H., Yılmaz Z., Bayülken S., Haçerlioğulları A., Kurnaz A. Radiochemical analysis of bottled drinking waters consumed in Turkey and a risk assessment study. *Microchemical Journal* 2019; 149: 104047.
- Vallès M., Bourouis M., Boer D. Solar-driven absorption cycle for space heating and cooling. *Applied Thermal Engineering* 2020; 168: 114836.
- Wang X., Ng KC. Experimental investigation of an adsorption desalination plant using low-temperature waste heat. *Applied Thermal Engineering* 2005; 25(17-18): 2780-2789.
- Wang Y., Lior N. Proposal and analysis of a high-efficiency combined desalination and refrigeration system based on the LiBr–H₂O absorption cycle—Part 1: System configuration and mathematical model. *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1): 220-227.
- Wang Y., Lior N. Proposal and analysis of a high-efficiency combined desalination and refrigeration system based on the LiBr–H₂O absorption cycle-Part 2: Thermal performance analysis and discussions. *Energy Conversion and Management* 2011; 52(1): 228-235.
- Wu D., Li Z., Zhu Y., Li X., Wu Y., Fang S. A new agricultural drought index for monitoring the water stress of winter wheat. *Agricultural Water Management* 2021; 244: 106599.
- Xu H., Sun XY., Dai YJ. Thermodynamic study on an enhanced humidification-dehumidification solar desalination system with weakly compressed air and internal heat recovery”. *Energy Conversion and Management* 2019; 181, 68-79.
- Xu ZY., Wang RZ. Comparison of absorption refrigeration cycles for efficient air-cooled solar cooling. *Solar Energy* 2018; 172: 14-23.
- Zhang Y., Sivakumar M., Yang S., Enever K., Ramezani pour M. Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination* 2018; 428: 116-145.



Elektrikli Araçların Şarjı ile Güç Şebekesine Aşırı Yüklenilmesinin Ayrık Denetleyici Sentezi ile Önlenilmesi

Mete ÖZBALTAN^{1*}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-3215-6363>

*Sorumlu yazar: mete.ozbaltan@erzurum.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.02.2022

Kabul tarihi:01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Ayrık olaylı sistemler

Sembolik ayrık denetleyici sentezi

Güç şebekesi yöneticisi

Elektrikli araçlar

ÖZ

Bu çalışma elektrikli araçların şarjı ile güç şebekesine aşırı yüklenilmesinin önlenmesi için ayrık denetleyici sentezi yöntemi ile bir modelleme çerçevesi önermektedir; burada, modeller senkron veri akış dilleri ailesi ile sembolik olarak sistematik bir şekilde inşa edilmiştir. Çalışmada, şebekeye aşırı güç yüklenilmesinin önüne geçecek adımların nasıl belirlendiği, belirtilen mevcut sorunun nasıl ayrık olayların kontrol problemi olarak ele alındığı ve nihayetinde ortaya çıkan sentezlenen bir denetleyicinin elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi olarak nasıl kullanıldığı detaylandırılır. Son olarak, çalışma kapsamında sunulan modelleme ve sentez algoritmaları deneysel bir uygulama ile doğrulanır.

Avoiding Overloading of the Power Grid by Charging Electric Vehicles, by using Discrete Controller Synthesis

Research Article

Article History:

Received: 11.02.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Discrete event systems

Symbolic discrete controller

Synthesis, power grid manager

Electric vehicles

ABSTRACT

This work proposes a modeling framework for avoiding overloading of the power grid by charging electric vehicles, by using discrete controller synthesis. These models are systematically built by using synchronous data-flow languages, as symbolically. In this work, the following problems are detailed. The first phase is to identify the steps to avoid power overload to the grid. And, it is revealed how the plant is handled as a discrete event control problem. Then, the use of the resulted controller as a power-grid charging manager for electric vehicles is presented. Finally, the modeling and synthesis algorithms presented in the study are validated with an experimental application.

To Cite: Özbaltan M. Elektrikli Araçların Şarjı ile Güç Şebekesine Aşırı Yüklenilmesinin Ayrık Denetleyici Sentezi ile Önlenilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1626-1634.

1. Giriş

Elektrikli araçlar için en önemli sorunlardan biri enerji yönetimi ile ilgilidir. Araçların bataryalarının dolumu için gerekli süre şebekeden çekilen güç ile ters orantılıdır. Gerçek hayat dinamikleri ile değerlendirme yapıldığında bu kısıt optimum noktada tutulma zorunluluğu doğurur. Bu makalede bu sorun geri beslemeli ayrık kontrol problemi olarak görülmüştür. Araçların bataryalarında bulunan enerji ile şebekeden çekilen enerji arasındaki yönetim mekanizması ayrık kontrol yöntemi kullanılarak tasarlanır.

Ayrık olay sistemlerinin kontrol teorisi ilk olarak (Ramadge ve Wonham, 1989) tarafından dil teorisi olarak önerilmiştir; teori genellikle verilen bir sistem ve istenilen kontrol hedefleri doğrultusunda bir denetleyici sentezlemeyi hedefler. Daha sonraki çalışmalarda otomata (Cassandras ve Lafortune, 2007), sonlu durum makineleri (Ramadge ve Wonham, 1989) ve Petri nets (Holloway ve ark., 1997) gibi birçok modelleme yaklaşımları izlenilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, ayrık olay sistemlerinin kontrol teorisi için çeşitli modelleme yöntemleri mevcuttur ve incelenmiştir; ancak, bu modeller durum patlaması probleminden oldukça muzdariptir. Bir diğer modelleme yöntemi olan veri akışı modelleri, düğümleri durumlar ve kenarları geçişler olan yönlü bir grafin üzerindeki hesaba dayalıdır ve veri akışı modellerinin (sembolik yaklaşım) kullanımı, sonlu/sonsuz ayrık olay sistemlerinin modellerinin sonlu bir sembolik geçişler kümesinden oluşabileceği ölçeklenebilirlik sorunlarının (yani durum patlaması sorununun) üstesinden gelmektedir.

Bu araştırmada, bir modelin belirtimi (plant), veri akışı modellerinin hesaplanmasını koşullu ifadelerle genişleten eşzamanlı veri akışı dilleri kavramı kullanılarak değerlendirilir. Burada belirtmek istenilen açık otomatların (yani durum geçişlerinin) senkron diller aracılığıyla sembolik olarak (örtük olarak) kodlandığıdır. Kontrol teorisi daha sonra güvenli (safety) ve optimizasyon gibi çeşitli kontrol amaçlarını karşılayan denetleyicileri sentezlemek için bir veri akışı modeline uygulanır. Sembolik geçiş modelleri, olaylar yerine sembolik geçişleri kullanarak kontrol edilebilirlik kavramını tanımlar. Bu nedenle, bir giriş/çıkış sonlu/sonsuz durum sisteminin modeli, bir dizi sonlu sembolik geçiş ile oluşturulabilir.

Giriş/çıkış yaklaşımı az sayıda bazı makalelerde ele alınmaktadır; ancak hemen hemen hepsinde sistemler sonlu durum makineleri veya otomatlar (Balemi ve ark., 1993) olarak tanımlanır. Örnek olarak otomata tabanlı senkron dil yaklaşımı (Maraninchi ve Remond, 2001) tarafından çalışılmıştır; ancak durum patlaması problemi sembolik yaklaşımların kullanılmasına yönlendirmiştir (örneğin (Altisen ve ark., 2003) etiketli geçiş sistemini önermiştir). (Marchand ve Borgne, 1998; Marchand ve Samaan, 2000; Marchand ve ark., 2000; Deval ve ark., 2013) çalışmaları güvenli (safety) kontrol sentezi için giriş/çıkış sembolik yaklaşımını kullanırlar; ancak, bu çalışmaların hepsinde sadece bool değişkenleri ele alınır ve (Dutertre, 1992) tarafından geliştirilmiş aynı sentez algoritması kullanılır. (Berthier ve Marchand, 2014; Berthier ve Marchand, 2015) ise sonsuz sistemler için sentez algoritmasının en son çalışmalarındandır. Bu çalışmaların yanı sıra optimizasyon hedefi (Marchand ve Borgne, 1998; Marchand ve Samaan, 2000) ve maliyet fonksiyonu (Dumitrescu ve ark., 2010) ayrık kontrol sentezi alanında çalışmaların önemle durulduğu başlıklardandır ve algoritmalarda kullanılan strateji dinamik programlama algoritmasına dayanır (Bellman, 1958).

Ayrık denetleyici sentezi tekniği literatürde birçok sisteme uygulanmış ve gerek güvenli (safety) gerekse de optimizasyon hedefleri doğrultusunda enerji yönetiminde yararlanılabilir bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Örnek olarak (Özbaltan ve Berthier, 2018; Özbaltan, 2020; Özbaltan ve Berthier, 2020) donanım devrelerinin güç verimliliğini hedeflemiş ve (Zhao ve ark., 2012) yalnızca güvenli kontrol algoritmasını kullanarak güç şebeklerinde enerji yönetimi üzerine çalışmıştır. Bu

makalede elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi, sembolik ayrık kontrol yöntemi kullanılarak sistematik bir yaklaşım ile sunulur ve bir uygulama ile deneysel olarak değerlendirilir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ayrık olaylı sistemlerin kontrolü

Ayrık olaylı sistemlerin kontrolü (Supervisory Control Theory), verilen bir kontrol edilmemiş ayrık olay sisteminin (plant-P) istenilen özelliklerin (Sp) sağlanması için geri bildirim yoluyla kontrolüne bir denetleyici/gözetici (supervisor-S) vasıtası ile sağlanması prensibine dayanmaktadır ve dil teorisi olarak formal bir şekilde aşağıda verilmiştir (Ramadge ve Wonham, 1989; Cassandras ve Lafortune, 2007).

Verilen bir ayrık olay sistemi AOS, 6-tuple $G = (X, \Sigma, \delta, x_0, X_m)$ sonlu otomatı olarak modellenilebilir, burada:

- X sonlu durumlar kümesidir;
- Σ sonlu olaylar kümesidir;
- $\delta \subseteq (X \times \Sigma \times X)$ bir durum geçiş fonksiyonu kümesidir;
- x_0 , X kümesinden bir başlangıç değeridir;
- X_m , X kümesi içerisinde işaretlenmiş durumlar kümesidir.

Yukarıdaki gibi bir G otomatının oluşturduğu dil: $\mathcal{L}(G) = \{s \in \Sigma^* \mid \delta(x_0, s)\}$, burada:

- Σ^* , Σ alfabesinin elemanları (string) ve boş string ε 'un ardı ardına eklenerek oluşturabileceği string ifadeler kümesidir;
- Σ üzerinde tanımlanan bir dil $\mathcal{L} \subseteq \Sigma^*$ 'dir;
- $s \in \Sigma^*$ için s 'in ön takıları (prefix) $\bar{s} = \{s_p \in \Sigma^* \mid \exists t \in \Sigma^* (s_p t = s)\}$ 'dir;
- $\mathcal{L} = \bar{\mathcal{L}}$ ifadesini sağlayan bir dil \mathcal{L} için ön takılar kapalıdır (prefix closed);

ve işaretlenmiş dil: $\mathcal{L}_m(G) = \{s \in \mathcal{L}(G) \mid \delta(x_0, s) \in X_m\}$ olarak tanımlanmışlardır.

Verilen bir kapalı çevrim sistemi plant-P ve sistemde istenilen özellikler Sp'yi sağlaması beklenen gözetici/denetleyici supervisor-S'nin paralel senkron kompozisyonu $P||S$, Sp'yi sağlamak zorundadır, burada:

- $\overline{\mathcal{L}_m(P||S)} = \mathcal{L}(P||S)$ yani bloklamasızdır ve paralel senkron kompozisyona izin verir;
- $\mathcal{L}(S_p) \subseteq \Sigma^*$ 'dir;
- Sistemde tanımlı olaylar kümesi, kontrol edilebilir Σ_c ve kontrol edilemez olaylar Σ_{uc} diye ikiye ayrılabilir ($\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_{uc}$).

Verilen spesifikasyonu (Sp) sağlayan kontrol edilebilir bir sistemin $(P||S)$ mevcudiyeti ancak $\overline{K} \Sigma_{uc} \cap \mathcal{L}(S_p) \subseteq \bar{K}$ şartı ile sağlanır, burada:

- Kontrol edilebilir alt diller $K \subseteq \mathcal{L}_m(S_p)$ ve $\mathcal{L}(S_p) \subseteq \Sigma^*$ 'dir;

- En fazla izin veren (maximally permissive) veya en az kısıtlayan (minimally restrictive) bir denetleyici için en yüksek mertebeden izin veren alt diller (supremental controllable sub-languages) $\mathcal{L}(P||S) = \sup C(K, \mathcal{L}(P), \Sigma_{uc})$ olarak tanımlanır.

2.2. Sembolik modelleme üzerinde ayrık kontrol

Sembolik modelleme bir etiketli giriş/çıkış otomata (input/output automata-Mealy machine) modellemesidir. Kontrol edilebilirlik olaylar yerine çıkışların girişlerin fonksiyonu olarak sembolik durumların geçişleri aracılığı ile sağlanması prensibine dayanır. Böylelikle gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin (örnek olarak kontrol edilebilir bir giriş sinyali ile bir sistemin kontrol edilmesi gibi) sembolik olarak modellenmesi ve kontrolü standart kontrol algoritmaları yerine daha efektif bir çözüm sunmaktadır. Sonsuz sayıdaki olayın sonlu sayıda sembolik geçiş ile modellenenebilmesine izin veren ayrık olaylar için sunulan modelleme çerçevesi aynı zamanda durum patlama problemini de ortadan kaldırmaktadır. Modelleme ve kontrol mekanizmaları alt bölümlerde açıklanmaktadır.

Sembolik Modelleme:

Sembolik modeller bir sembol-vektör (\mathcal{S}) kümesi olarak veri-akış dil ailesi kullanılarak inşa edilmektedir. Her sembol bir \mathbb{D} domainindedir ve değişmez (constant) bir ifade de olabilir, burada $\mathbb{D} \in \mathbb{B}, \mathbb{N}, \mathbb{Q}$ 'dir. Bir sembol S olduğu \mathbb{D} domaininde bir ifadeye karşılık gelerek temsil edilebilmekte ve ifadenin içerdiği semboller o sembolün karşılık geldiği ifadenin yerini tutmaktadır. Yer tutan sembollerin haricinde hafızalı semboller de klasik olarak eşitliğin sağ tarafındaki ifadenin değeri, eşitliğin sol tarafında bulunan sembolün bir sonraki değerini verecek şekildedir. İfadeler genel olarak koşullu matematiksel ve boolean cebirini içermektedir.

Üst paragraftaki tanıma göre kolaylıkla açık olarak verilen bir otomatın örtük (data-flow veya sembolik) bir biçimde ifade edilebilir ve formal bir biçimde 5-tuple $(Q, I, O, \theta_0, \delta)$ olarak verilir, burada: Q sonlu sayıda durum değişkenleri kümesi; I sonlu sayıda giriş değişkenleri kümesi; O sonlu sayıda çıkış değişkenleri kümesi; $\theta_0 \in Q$ bir başlangıç değeri; ve δ durum geçişleri kümesi, burada bir geçiş $q \xrightarrow{i/o} q'$ olarak ifade edilir ($q \in Q, q' \in Q, i \in I$ ve $o \in O$).

Sembolik Kontrol:

Sembolik bir kontrol problemini çözmek bir oyun olarak düşünülürse: birinci oyuncu ortamın davranışlarını ikinci oyuncu kontrol edilebilir olaylarını yönetir. Oyun, birinci oyuncunun yaptığı en iyi hamleye karşılık ikinci oyuncunun en iyi hamlesi sonucunda oluşan durumların tespiti ve devamı yönündedir.

Önceki bölümde sunulan 5-tuple modelin, giriş/çıkış otomati halinde, verilen bir spesifikasyonu (σ) sağlayan kontrol edilebilirliği giriş değişkenlerinden kontrol edilebilir olanların bir denetleyici sentezi vasıtası ile dinamik bir şekilde belirlenmesi ile gerçekleştirilir ve formal olarak önceki bölümde verilen model, 7-tuple $(Q, I_c, I_{uc}, O, \theta_0, \delta, C_\sigma)$ olarak yeniden yazılır, burada: $I_c \in I$ kontrol edilebilir değişkenleri, $I_{uc} \in I$ kontrol edilemeyen değişkenleri ve C_σ verilen bir spesifikasyonu sağlamak için gerekli giriş değişkenlerinin (I_c) değerlerini üreten bir denetleyiciyi temsil eder; ve

verilen bir sistem için ve bu sistem için istenilen bir spesifikasyonu garanti eden denetleyicinin sentezi sunulan 7-tuple modelin çözümü ile elde edilir.

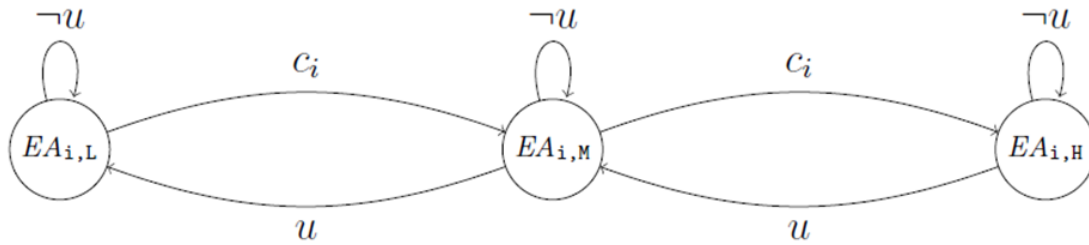
2.3. Elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi

Giriş bölümünde belirtildiği gibi elektrikli araçların yaygınlaşması ile şebekeye aşırı yüklenilmesinden dolayı önemli sorunların açığa çıkacağı tartışılmazdır. Bu çalışmada bu sorun geri beslemeli kontrol problemi olarak görülmüştür ve yukarıda verilenler üzerine bir sembolik sistem modeli geliştirilir; bu modele ayrık kontrol sentezi algoritmaları uygulanarak bu sorunun üstesinden gelen bir denetleyici sentezlenir ve elektrikli araçlar şarj yöneticisi olarak şebekeye aşırı yüklenilmesini önlemek amacı ile kullanılır.

Modelleme çerçevesi doğrultusunda elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi için bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} inşa edilir. Bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} : (i) her araç için oluşturulan elektrikli araçlar batarya-şarj modeli (batarya enerjilerinin kritik seviyelerin altına inmesini engellemek için); (ii) şebeke için tasarlanan güç-uyarı modeli (şebekeden çekilen güç miktarının kritik seviyenin üzerine çıkmasını engellemek için); (iii) ve kontrol hedeflerinin senkron paralel kompozisyonundan oluşur. Burada her bir ifade veri-akışı eşitlikleri şeklinde senkron paralel dil ailesi ile kodlanır.

Daha sonra, oluşturulan bir sembolik sistem modeli \mathcal{M} 'ye şebekeye aşırı yüklenmeyi önleyecek ve çekilen yükü azaltacak şekilde güvenli (safety) ve optimizasyon kontrol algoritmaları uygulanarak denetleyici sentezlenir. Bu denetleyici istenilen kontrol hedeflerini her zaman garanti eder ki bu çalışma kapsamında şebekeden çekilen güç miktarının kritik seviyelerin üzerine çıkılmasının engellenmesi yanında araçların batarya seviyelerinin de belirlenen kritik seviyelerin altına düşmesi engellenir. Optimizasyon algoritması ise olası gelecek durumları da hesaba katarak oluşabilecek en kötü durumdan kaçınır ve şebekeden çekilen gücün her zaman yüksek değerlere çıkmasını engeller. Not olarak şebekeden çekilen toplam güç değişmemektedir sadece birim zamanda çekilen güç kısıtlanarak olası problemlerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

Elektrikli Araçların Modellenmesi:

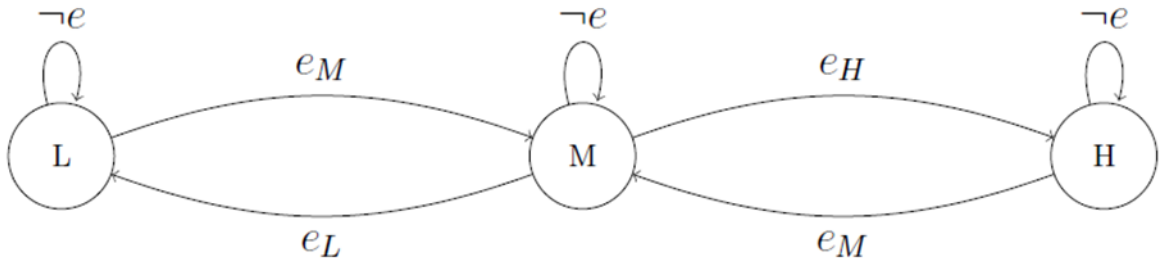


Şekil 1. Elektrikli Araçlar Batarya-Şarj Modeli

Elektrikli araçlar batarya şarj modelinde her bir araç için Şekil 1'deki gibi bir otomata oluşturulmuş ve bu otomatlar sembolik olarak ayrı ayrı kodlanmıştır. Burada her bir araç EA_i için üç farklı kapasite durumu belirtilmiştir: $EA_{i,L}$ (düşük), $EA_{i,M}$ (orta) ve $EA_{i,H}$ (yüksek). Şekil 1'de görüldüğü üzere herhangi bir aracın bataryasının (EA_i) dolumu ilgili bir kontrol edilebilir değişken c_i ile

sağlanabiliyorken batarya deşarj işlemi kontrol edilemez bir ortamda bulunmaktadır (yani kontrol edilemeyen bir olay veya giriş değişkeni u). Daha açık bir şekilde unformal olarak araçların bataryasının şarj işlemi ancak gelecek ikaz bildirisi (denetleyici sentezi sonrasında) üzere araç kullanıcısı tarafından sağlanacaktır; bunun yanında batarya tüketimi herhangi bir nedenle kontrol edemediğimiz bir şekilde gerçekleşebilir. Burada ikaz bildirisi ile hedeflenen, aracın bataryasının kritik seviyenin altına inmesinin yanı sıra şebekenin izin verdiği bir durumda (yani $EA_{i,L}$, $EA_{i,M}$, $EA_{i,H}$) da gerçekleşebilmesidir. Yani amaçlanan kontrol değişkenleri ile hem aracın bataryasının kritik seviyelerin altına düşmesi engellenmekte hem de şebekeye aşırı yüklenilmesi önlenilmektedir. Not olarak burada bir kontrol edilebilir değişkenin (c_i) ne kadar süre doluma izin verdiği ilgili kontrol algoritmalarının uygulanmasından sonra dinamik olarak belirlenmektedir; ancak en az bir kademe dolum yapılmaktadır.

Güç Şebekesinin Modellenmesi:



Şekil 2. Şebeke Güç-Uyarı Modeli

Güç şebekesinin modellenmesinde Şekil 2'deki gibi bir güç-uyarı mekanizması geliştirilerek üç farklı kademe ile sistemin ikaz vermesi sağlanmıştır; burada kademeler L (düşük), M (orta) ve H (yüksek)'tir. Kademeler arasındaki geçişler görüldüğü üzere kontrol edilemeyen çevresel faktörler e ile gerçekleşmektedir; buradaki kontrol edilemeyen sinyaller de batarya-şarj modelinde olduğu gibi birçok etkene bağlı olabilir ancak yine de bir başka çalışmada stokastik bir şekilde modellenir (örneğin bir şehre ait zaman-güç istatistikleri veya araçlar için kullanıcı istatistikleri gibi); bu çalışmada çevresel faktörler kontrol edilemeyen giriş değişkenleri olarak ele alınmıştır. Güç-uyarı modelindeki durumlar, yardımcı veri-akış eşitlikleri ile aşağıda kontrol hedefleri doğrultusunda batarya-şarj modeli içerisinde bulunan kontrol değişkenlerini sentez algoritması sonucunda dinamik bir şekilde nihayetlendirir.

Kontrol Hedefi:

Yukarıda vurgulandığı gibi hem araçların bataryalarının kritik seviyelerin altına inmemesi hem de şebekeye aşırı yüklenilmemesi hedefleri doğrultusunda sunulan güvenli kontrol algoritması uygulanılarak sistem davranışları etkilenmeden belirtilen kontrol hedeflerini sağlayan denetleyici sentezlenmesi sağlanır. Burada araçların bataryaları ve şebeke için sırasıyla dip ve pik noktaları

belirlenir ve bu sınırların dışına çıkıldığında kontrol edilen değişkenler {true,false} küme seti içinde değiştirilir. Bunun yanı sıra optimizasyon hedefleri de gelecek vade durum değişkenleri eşliğinde (istatistiksel veriler ile stokastik bir durum modeli oluşturularak) kullanılarak hem an itibarı ile şebekeden çekilen gücün en aza indirgenmesi hem de gelecek bir zamanda en az seviyede olması sağlanır.

3. Bulgular ve Tartışma

Verilen elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi için çok sayıda çeşitli yapay senaryolar rastsal olarak, tasarlanan bir script ile otonom bir şekilde kurgulanmıştır. Bu senaryolardaki değişkenler: araç sayısı, araçların batarya kapasiteleri ve zaman içerisindeki değişimleri, araçların şebekeden çektikleri güç, şebekenin yük eşik sınırları ve kontrol hedefleridir. Senaryoların kurgulanıp değerlendirilmesindeki aşamalar aşağıdaki gibi sıralanmıştır: (i) değişkenler rastsal olarak script tarafından oluşturulur; (ii) bu değişkenler ile verilen modeller ve kontrol hedefleri senkron diller kavramı (veri akışı eşitlikleri) doğrultusunda kodlanır; (iii) daha sonra scriptin bulunduğu ortam dışındaki başka bir ortamda (ReaX (Berthier ve Marchand, 2014)) oluşturulan veri akış modeline sunulan kontrol algoritmalarının uygulanması ile bir denetleyici sentezlenir; (iv) ve son olarak sentezlenen denetleyicinin script ortamına tekrar aktarılması ile senaryodaki kurgular (örnek: zamana bağlı batarya tüketimi) tamamlanır ve sonuçlar değerlendirilir.

Sonuç olarak beklenildiği gibi güvenli (safety) algoritması, araçları ve şebekeyi verilenler ile güvenli durum uzayı bölgesinde tutmaktadır ve bununla birlikte optimizasyon algoritmasının da gelecek durumları hesaba katarak safety algoritmasının sağladığı güvenli durum uzayı bölgesi içerisinde kontrol edilemeyen olayların en kötüsüne karşılık kontrol edilebilir olayların en iyisi ile cevap verdiği deneysel gözlem ile sabittir. Farklı bir deyişle bütün araçlar her zaman için bataryalarındaki enerji bitmeden yani belirtilen kritik seviyenin altına düşmeden tekrar şebekeden dolun sağlayabilmişlerdir ve şebekeden çekilen güç de her zaman mümkün mertebe en alt seviyelerde tutularak çekilen gücün kritik seviyelere çıkması engellenmiştir (yani şebekeden çekilen güç herhangi bir anda kritik seviyenin üzerinde bulunmamıştır). Bunun yanında senaryolar için sentez algoritmasının uygulanmadığı kontrol grupları incelendiğinde şebekeden çekilen güçler her zaman sunulan sisteminkinden daha fazla olmuş ve şebekeden izin verilen çekilebilecek gücün pik noktasının üzerine çıktıkları görülmüştür. Not olarak sunulan modelleme çerçevesinde, senaryolar arasında düşük, orta ve yüksek uyarı seviyelerine rastlanılmıştır; ancak şebekeden izin verilen çekilebilecek gücün pik noktasının üzerine çıkılmamıştır; çünkü model checking olarak davranan sentez algoritması zaten bu durumu engellemektedir; rastsal değişkenlerin dayattığı zorunlu pik noktasının aşımı durumlarında sentez algoritması bu durumu tespit eder ve bir denetleyici sentezlemeyerek bunu bildirir.

4. Sonuç

Bu çalışmada sembolik ayrık kontrol sentezi yöntemi kullanılarak elektrikli araçların şarjı ile güç şebekesine aşırı yüklenilmesinin önlenilmesi yönünde bir modelleme çerçevesi önerilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle ilgili sembolik modelleme yöntemi ve güvenli kontrol algoritması poliçeleri sunulmuş, elektrikli araçlar şebeke şarj yöneticisi modelleme algoritması sistematik bir şekilde sembolik olarak inşa edilmiş ve şebekeye aşırı yüklenilmesinin önlenilmesi için gerekli güvenlik adımları verilmiştir. Bir deneysel uygulama ile sentez algoritmasının ürettiği denetleyici, yönetici olarak kullanılmış; sonucunda istenilen özellikler garanti edilmiş ve deneysel olarak modelleme çerçevesi ve ilgili algoritmalar doğrulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, bu ve benzer yönde yapılacak çalışmalar için ilham vericidir; örnek olarak bu çalışma dahilinde bir optimizasyon algoritması ile gelecek durumlar için orta vade planlanmış bir yönetici sentezi üzerinde çalışılır Detaylandırmak gerekirse, zaman içinde oluşmuş kullanıcı verileri ile bir stokastik model oluşturulur ve bu model kullanılarak bir maliyet (cost) fonksiyonunun sembolik sisteme eklenmesi ve bu çalışmada sunulan optimizasyon algoritmasının uygulanması ile daha efektif sonuçlar alınmasını sağlayan bir denetleyicinin sentezlenebilmesi mümkün olur. Veya başka bir çalışmada enerji iletim hatları için bir model geliştirilir. Bu çalışmada sunduğumuz sistematik yaklaşıma benzer bir şekilde güç sağlayıcılar, güç dağıtıcılar, tüketiciler (istenirse yine benzer bir şekilde stokastik bir modele de başvurularak) ve bunların birbirleri ile olan enerji transferleri arasındaki bağıntı (plant) modellenir ve uygun kontrol algoritmalarının uygulanması ile istenilen spesifikasyonları sağlayan bir denetleyicinin güç ağında bir yönetici olarak kullanılması sağlanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Altisen K., Clodic A., Maraninchi F., Rutten E. Using controller synthesis techniques to build property enforcing layers. *Programming Languages and Systems 2003*; 174-188.

Balemi S., Hoffmann G., Gyugyi P., Wong-Toi H., Franklin G. Supervisory control of a rapid thermal multiprocessor. *IEEE Transactions on Automatic Control* 1993; 38(7): 1040–1059.

Bellman R. Dynamic programming and stochastic control processes. *Information and Control* 1958; 1(3): 228–239.

Berthier N., Marchand H. Deadlock-free discrete controller synthesis for infinite state systems. *IEEE Conference on Decision and Control* 2015; 1000–1007.

- Berthier N., Marchand H. Discrete controller synthesis for infinite state systems with reax. IFAC Proceedings Volumes 2014; 47(2): 46–53.
- Cassandras CG., Lafortune S. Supervisory control. Introduction to Discrete Event Systems 2007; 133–223.
- Delaval G., Rutten E., Marchand H. Integrating discrete controller synthesis into a reactive programming language compiler. Discrete Event Dynamic Systems 2013; 23(4): 385–418.
- Dumitrescu E., Girault A., Marchand H., Rutten E. Multicriteria optimal reconfiguration of fault-tolerant real-time tasks. IFAC Proceedings Volumes 2010; 43(12): 356–363.
- Dutertre B. Spécification et Preuve de Systemes Dynamiques. Ph.D. dissertation 1992.
- Holloway LE., Krogh BH., Giua A. A survey of petri net methods for controlled discrete event systems. Discrete Event Dynamic Systems 1997; 7(2): 151–190.
- Maraninchi F., Rémond Y. Argos: An automaton-based synchronous language. Computer Languages 2001; 27(1): 61–92.
- Marchand H., Borgne ML. On the optimal control of polynomial dynamical systems over z/pz . International Workshop on Discrete Event Systems 1998; 385–390.
- Marchand H., Samaan M. Incremental design of a power transformer station controller using a controller synthesis methodology. IEEE Transactions on Software Engineering 2000; 26(8): 729–741.
- Marchand H., Bournai P., Borgne ML., Guernic PL. Synthesis of discrete-event controllers based on the signal environment. Discrete Event Dynamic System: Theory and Applications 2000; 10(4): 325–346.
- Özbaltan M. Achieving power efficiency in hardware circuits with symbolic discrete control. Ph.D. dissertation 2020.
- Özbaltan M., Berthier N. Exercising symbolic discrete control for designing low-power hardware circuits: an application to clock-gating. IFAC-PapersOnLine 2018; 51(7): 120–126.
- Özbaltan M., Berthier N. A case for symbolic limited optimal discrete control: Energy management in reactive data-flow circuits. IFAC-PapersOnLine 2020; 53(2): 10688–10694.
- Ramadge P., Wonham W. The control of discrete event systems. Proceedings of the IEEE 1989; 81–98.
- Zhao J., Chen YL., Chen Z., Lin F., Wang C., Zhang H. Modeling and control of discrete event systems using finite state machines with variables and their applications in power grids. Systems & Control Letters 2012; 61(1): 212–222.

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) Türünün Yayılımına Toprak Özelliklerinin Etkisi

Hüseyin KARLILAR¹, Hüsnüye AKA SAĞLIKLER^{2*}, Şahin CENKSEVEN³

^{1,2}Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Osmaniye

³Çukurova Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-9115-2461>

²<https://orcid.org/0000-0003-3807-1827>

³<https://orcid.org/0000-0003-2330-8668>

*Sorumlu yazar: hasaglikler@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.06.2022

Kabul tarihi: 15.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Ak navruz

Kadirli

Iris stenophylla subsp. *margaretiae*

Bölgesel yayılım

Bu çalışmada, Osmaniye ilinin Kadirli ilçesi ile Sumbas ilçe sınırının 10 farklı lokalitesinden örneklenen *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) topraklarının bünye tipi, tarla kapasitesi (%), pH, kireç (%), elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), organik madde (%) ile bitkinin yaşadığı toprakların bazı makro [C (%), N (%), P (mg/kg), K (mg/kg), Ca (%), Mg (mg/kg), Na (mg/kg)] ve mikro [Fe (mg/kg), Cu (mg/kg), Zn (mg/kg), Mn (mg/kg)] besin elementleri içerikleri belirlenmiştir. Tüm bu bulgular uluslararası standart toprak analiz yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda temin edilen bulgular; bitkinin eğimli arazilerde yayılım gösterdiği ve topraklarının kumlu killi tın (SCL) bünyeli, hafif alkali, çoğunluğu yüksek değişken kireç içeriği ve yine değişken makro-mikro element içerikleri ile yaşadığı alana adapte olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile bu endemik türün yayılım gösterdiği alanın koruma altına alınarak diğer alanlardan izole edilmesinin oldukça önem arz ettiğinin vurgulanması sonucuna varılmıştır.

The Effect of Soil Characteristics on the Spread of *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) Species

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 01.06.2022

Accepted: 15.08.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Ak navruz

Kadirli

Iris stenophylla subsp. *margaretiae*

Regional distribution

In this study, the texture type, field capacity (%), pH, lime (%), electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$), organic matter (%), and some macro [C (%), N (%), P (mg/kg), K (mg/kg), Ca (%), Mg (mg/kg), Na (mg/kg)] and micro [Fe (mg/kg), Cu (mg/kg), Zn (mg/kg), Mn (mg/kg)] nutrient contents of *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) soils sampled from 10 different localities of Kadirli district and Sumbas district border of Osmaniye province were determined. All these findings were obtained using international standard soil analysis methods. The findings obtained at the end of the study show that the plant spreads on sloping lands and its soils are sandy clay loam (SCL) textured, slightly alkaline, variable lime content and again variable macro-micro element contents. With this study, it was concluded that it is very important to protect the area where this endemic species spreads and to isolate it from other areas.

To Cite: Karlılar H., Aka Sağlıker H., Cenkseven Ş. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) Türünün Yayılımına İklim, Hidroloji ve Toprak Özelliklerinin Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1635-1646.

1. Giriş

Ülkemiz; tür, alt tür veya varyete seviyesinde yaklaşık 12.000 bitki taksonu (Davis, 1965, Davis, 1966, Davis, 1977; Ekim, 1998) ile ayrıca mevcut taksonların ise 3000'i aşan sayıda türün endemik olması nedeni ile bitki çeşitliliği bakımından çoğu ülke içinde dikkat çekici bir özelliğe sahiptir (Özhatay ve Kültür, 2006). Türkiye'de yayılış gösteren bitki türlerinin sayısı ile Avrupa kıtasının tamamındaki bitki türlerinin sayısı kıyasladığında Türkiye'nin biyoçeşitlilik açısından bir kıta ile eşdeğer sonuçlara sahip olduğu gözlenmektedir (Demir, 2013). Bitki örtüsünün dağılımı, zenginliği ve yayılışına etki eden en faktörlerin başında topoğrafya ile özellikle yağış ve sıcaklık gibi iklim elemanlarının geldiğini bilinmektedir (Atalay, 1994). Türkiye coğrafisi, jeomorfolojisi ile çevresinin denizlerle kaplı olması ve iklimi bitki çeşitliliğinin zenginliğini anlamada kolaylık sağlayabilir. Türkiye'de farklı ekolojik koşullar ve buna uyum sağlamış flora çeşitliliği gözlenmekte olup farklı toprak özelliklerinin de bu süreçte etkili olduğu göz ardı edilmemelidir. Toprak derinliği, yetersiz yağış, topraktaki faydalı su miktarının yetersizliği ve toprak organik madde içeriğinin azlığı bitki büyüme ve gelişmesini sınırlandıran faktörlerdir (Anonim, 2013).

Türkiye biyoçeşitlilik açısından değerlendirildiğinde oldukça zengin bir ülke olup bu konunun ülkedeki ilgili kurumlar tarafından benimsendiği ve hassas bir noktada olduğu gözlenmektedir. Bazı türlerin neslinin devamlılığı düşük popülasyon düzeylerinden kaynaklanmakta olup bu türlerin ivedilikle koruma altına alınması zaten sağlanmaktadır. Fakat geniş bir coğrafyada yayılmış özellikle nesli tehlike altında olan türlerin ve bunların çeşitliliğinin korunması ve/veya kullanma dengesi içerisinde sürdürülmesi ile gelecek nesillere aktarılması oldukça önem arz etmektedir (Orman Bakanlığı Tür Koruma Eylem Planı, 2014).

Ak Navruz; Osmaniye'de endemik olarak bulunan ve ilk kez 2012 yılında bilim camiasına kazandırılan Türkiye Damarlı Bitkiler listesinde *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* adı ile tanımlanan önemli bir bitki türüdür (Güner ve ark., 2012). Lokal endemik bir tür olan Ak Navruzun (*Iris stenophylla* subsp. *margaretiae*) çoğu Osmaniye'nin il sınırları içinde ve bir iki lokalitesi ise Kahramanmaraş il sınırlarında yayılım göstermektedir (Osmaniye İli Ak Navruz Yönetim Planı, 2019). *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* çiçek tomurcukları Şubat ayı ile birlikte gözlenmekte olup yükseltiye bağlı olarak Mayıs ayı sonuna kadar devam etmektedir. Olgunlaşmış meyveler aşağı yükseltilerde mayıs sonu yukarı yükseltilerde ise Haziran sonlarına kadar gözlenmektedir. Çiçekler bir kapsülde birden fazla tohum oluşturmakla birlikte çok sayıda tohumun uygun habitatta çimlenebilmeleri ise sınırlayıcı bir faktördür. Bu sebeple *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* türünün dağılım sergilediği alanların korunması yeni bireylerin gelişimi ve tür neslinin devamı için oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Osmaniye ilinin Kadirli ilçesi ve Sumbas ilçe sınırı ile Kahramanmaraş-Osmaniye il sınırında yer alan ve Kahramanmaraş iline bağlı Andırın ilçe sınırından olmak üzere 10 farklı lokaliteden örneklenen *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) topraklarının bazı fiziksel ve

kimyasal özellikleri belirlenerek endemik tür olan bu bitkinin özellikle Osmaniye Bölgesi ve ülkemiz açısından kayıt altına alınarak ekolojik açıdan araştırılması amaçlanmıştır.

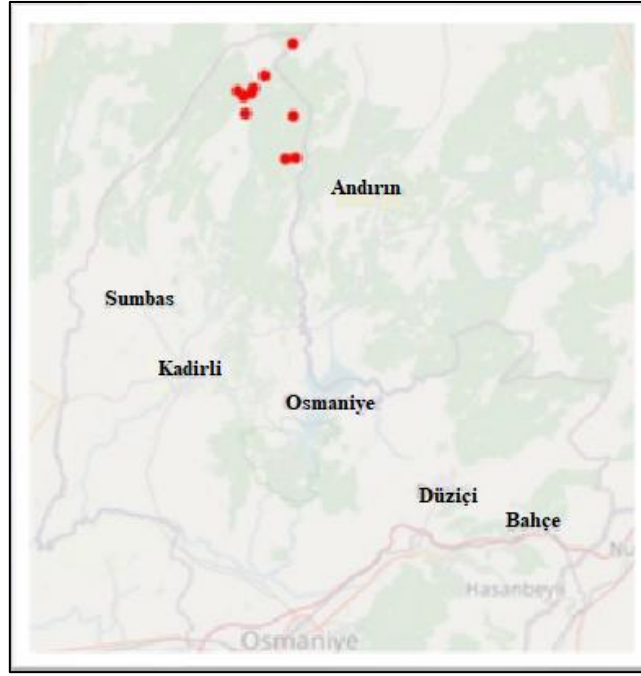
2. Materyal ve Metot

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* (Şekil 1) bitkisinin toprak özelliklerinin belirlenmesi için Osmaniye ilinin Kadirli ilçesi [Değirmendere (örnek no:8), Sıyrınç (örnek no: 6), Tahtaköyü (örnek no: 9-10)] ve Sumbas ilçe sınırı [Bağdaş (örnek no: 1, 3, 4, 5), Kırkpınar (örnek no: 7)] ile Kahramanmaraş-Osmaniye il sınırında yer alan ve Kahramanmaraş iline bağlı Andırın ilçe sınırından da olmak üzere (örnek no: 2) toplamda 10 farklı lokaliteden 2021 yılı Nisan ayı içerisinde 0-20 cm derinlikten sadece toprak örnekleri alınmıştır.



Şekil 1. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* çiçekleri (Fotoğraf: Hüsniye Aka Sağlıker)

Toprak örneklerinin toplandığı bölgelerin küresel konumlama sistemi olan GPS (Global Positioning System) aracılığı ile konumları (Şekil 2) ve deniz seviyesinden yüksekliği (1000-1500 m) not edilmiş örnekler her bölgeden aynı miktarda alınmış ve Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Biyoloji Laboratuvarında gerekli süre zarfında hava kurusu olarak kurumaları sağlanmıştır. Toprak örnekleri kurutulduktan sonra çalışmaların kolaylığı ve sonuçların doğruluğu açısından önce öğütülmüş sonra da 0,02 mm'lik elek ile elenmiştir. Öğütülmüş elenmiş bu toprak örnekleri sonrasında uygulanacak fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere cam kavanozlarda muhafaza edilmiştir.



Şekil 2. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* bitkisinin Osmaniye ili sınırları içerisindeki dağılım gösterdiği alanların harita üzerindeki lokaliteleri (Osmaniye İli Ak Navruz Yönetim Planı, 2019)

Toprakta tekstür tayini hidrometre aracılığı ile (Bouyoucus, 1951), tarla kapasitesi (%TK) 1/3 atmosfer basıncı oranıyla vakumlu pompa ile (Demiralay, 1993), elektriksel iletkenlik ve pH değeri 1:2,5 saf su ile sulandırılarak EC ve pH metre ile (Jackson, 1958), kireç içeriği (%CaCO₃) Scheibler kalsimetresiyle kullanılarak ölçülmüştür (Allison ve Moodie, 1965). Topraklarda organik C içeriği Anne metodu ile (Anne, 1945), toplam N içeriği Kjeldahl destilasyon sistemi ile (Bremner, 1965), yarayışlı P içeriği molibdofosforik mavi renk yöntemindeki ekstrakt çözeltisine fosforun geçmesi ile (Olsen ve ark., 1954), Yarayışlı K, Mg, Ca, Na 1 N amonyum asetat çözeltisi kullanılarak belirlemiştir (Knudsen ve ark., 1982). Yine topraklarda Zn, Fe, Mn ve Cu mikro elementleri DTPA ekstraksiyon çözeltisi kullanılarak analiz edilmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

Araştırma topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili verilerinin ortalama \pm standart hata değerleri SPSS paket programı ile tespit edilmiştir. Topraklara ait veriler üç tekrarlı ölçümlerin ortalaması olup tüm tablolarda ortalama \pm standart hata değerleri olarak sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Araştırma Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Osmaniye ilinin Kadirli ilçesi ve Sumbas ilçe sınırı ile Kahramanmaraş-Osmaniye il sınırında yer alan ve Kahramanmaraş iline bağlı Andırın ilçe sınırından toplamda 10 farklı örneklik alandan alınan *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının laboratuvar ortamında yürütülen bazı fiziksel ve kimyasal analizlerine ait bulgular ve bu bulgulara ait değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur (Tablo 1-2).

Iris stenophylla subsp. *margaretiae*'nin yayılım gösterdiği topraklara ait bünye analiz sonuçları bitkinin dağılım gösterdiği alanın ağırlıklı olarak kumlu killi tın (SCL) olduğunu göstermiştir. Killi tın,

tın, kumlu tın ve kil bünyeli olarak belirlenmiş diğer bulgular ise bitkinin bulunduğu lokasyondaki toprak ana materyaline, yükseltiye, yöne veya eğime bağlı olarak değişiklik göstermiş olabilir (Tablo 1). Bitkilerin yaşadığı yükselti ve topoğrafik farklılıklar bitki beslenmesi, toprak yapısı ve mikroorganizma faaliyetlerini etkileyebilmektedir (Powers, 1990; Garten ve ark., 1994).

Tablo 1. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının bünye analiz sonuçları (n=3, ortalama ± standart hata)

Lokaliteler	Kum		Kil		Silt		Bünye tipi
	(%)						
1. Bağdaş_Elmacık	32,30	± 0,63	39,41	± 0,56	28,28	± 0,50	Killi Tın (CL)
2.Andırın_Çığsar	48,99	± 0,70	13,33	± 0,55	37,68	± 0,84	Tın (L)
3.Bağdaş_Demircik1	52,45	± 0,37	16,24	± 0,51	31,31	± 0,61	Tın (L)
4.Bağdaş_Demircik2	58,87	± 1,04	27,54	± 0,92	13,58	± 0,36	Kumlu Tın (SL)
5.Bağdaş_Çevresi	59,67	± 0,53	27,50	± 0,60	12,83	± 0,15	Kumlu Tın (SL)
6.Sıyrıncaç	57,37	± 0,33	26,77	± 0,16	15,86	± 0,30	Kumlu Killi Tın (SCL)
7.Kırkpınar	39,84	± 1,04	42,11	± 0,94	18,06	± 0,52	Kil (C)
8.Değirmendere_Kale	58,66	± 0,73	26,02	± 0,73	15,32	± 0,41	Kumlu Killi Tın (SCL)
9.Tahtaköyü_Nergizli	56,59	± 0,69	33,39	± 0,55	10,01	± 0,24	Kumlu Killi Tın (SCL)
10.Tahtaköyü_Dikenli	55,56	± 0,15	28,74	± 0,42	15,69	± 0,32	Kumlu Killi Tın (SCL)

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* topraklarının tarla kapasitesi (%) 18,46-37,30 arasında değişmekte olup bu değerler toprakların içerdiği kil ve organik madde miktarına göre değişim gösterebilmektedir (Tablo 2). Toprağın tarla kapasitesinin; toprağın tekstürü ve strüktürü ile organik madde içeriği ve taban suyu derinliği ile ilgili olduğu saptanmıştır (Pritchett, 1979). Ayrıca tarla kapasitesi değerinin killi topraklardaki su hareketinin kumlu topraklara göre çok daha yüksek olduğu bilinmektedir (Karahana ve ark., 2014).

Araştırma topraklarının pH içerikleri 7,47-8,12 arasında değişmekte olup bitkinin nötr ve hafif alkali topraklarda dağılım gösterdiği dikkat çekmektedir (Tablo 2). *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının kireç içeriği (%CaCO₃) ise örnek alınan her bir noktada diğerlerine göre farklılık göstermektedir. Bu değer 8 nolu Değirmendere_Kale topraklarında en az (%2,99) iken 5 nolu Bağdaş çevresindeki topraklarda en fazla (%37,53) olarak saptanmıştır. Ak Navruz türünün yayılım gösterdiği toprakların kireç içerikleri geniş sınırlar içinde değişmesine rağmen, büyük çoğunluğu yüksek kireçli toprak sınıfına girmektedir. Toprakların kireç içeriğindeki bu değişkenliği Ak Navruz toprağının kireçtaşı anamateryalli kayaktan oluşmuş olabileceğini ve eğim faktörü ile de değişkenlik gösterebileceğini düşündürmektedir. Benzer sonuçlar Yeşilirmak nehir terasları üzerinde oluşmuş topraklarda da (%0,8-25,4) gözlenmiştir (Durak, 2014).

Tablo 2. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri (n=3, ortalama ± standart hata)

Lokaliteler	Tarla Kapasitesi (TK)		pH	CaCO ₃ (%)	Elektriksel İletkenlik (EC)		Organik Madde (OM)	
	(%)	(%)			(μS/cm)	(%)		
1. Bağdaş_Elmacık	37,30 ± 0,67	7,83 ± 0,01	12,84 ± 0,34	119,87 ± 1,13	3,72 ± 0,01			
2. Andırın_Çığsar	30,19 ± 0,18	8,05 ± 0,01	37,10 ± 0,99	93,27 ± 0,12	1,71 ± 0,03			
3. Bağdaş_Demircik1	23,77 ± 0,65	8,12 ± 0,01	19,49 ± 0,52	94,03 ± 0,12	1,48 ± 0,05			
4. Bağdaş_Demircik2	20,11 ± 0,23	8,10 ± 0,01	33,12 ± 1,19	108,03 ± 0,96	1,51 ± 0,02			
5. Bağdaş_Çevresi	18,46 ± 0,19	8,06 ± 0,01	37,53 ± 1,99	94,00 ± 0,42	1,62 ± 0,03			
6. Sıyrınçaç	28,24 ± 0,50	7,83 ± 0,02	42,12 ± 2,12	158,03 ± 1,28	2,91 ± 0,04			
7. Kırkpınar	32,35 ± 0,40	7,74 ± 0,01	5,36 ± 0,15	104,10 ± 0,81	3,81 ± 0,06			
8. Değirmendere_Kale	24,64 ± 0,45	7,71 ± 0,00	2,99 ± 0,38	63,87 ± 0,09	2,55 ± 0,06			
9. Tahtaköyü_Nergizli	21,09 ± 0,24	8,09 ± 0,01	10,64 ± 0,53	85,23 ± 0,80	1,49 ± 0,01			
10. Tahtaköyü_Dikenli	28,81 ± 0,31	7,47 ± 0,02	3,41 ± 0,06	70,27 ± 0,23	3,72 ± 0,02			

Toprakların elektriksel iletkenlik içeriği (μS/cm) ise 63,87-158,03 arasında değişiklik göstermektedir. Bu değerlere göre tüm araştırma alanı toprakları tuzsuz topraklar sınıfında yer almıştır (Küçük ve Yener, 2019). Benzer bulgular diğer bazı çalışmalarda da saptanmıştır (Kara ve Bolat, 2008; Oğuz ve Acar, 2011). Ak Navruz topraklarının organik madde içeriği en düşük değer olarak %1,48 ve en yüksek değer olarak %3,81 olarak dikkat çekmektedir. Toprakların organik madde içerikleri de tıpkı kireç içerikleri gibi geniş sınırlar içerisinde değişim göstermektedir. Fakat örneklik alan topraklarının genel olarak yarısından fazlasının organik madde içeriği düşük düzeydedir. Organik madde içeriği sadece 1 nolu Bağdaş_Elmacık ve 10 nolu Tahtaköyü_Dikenli mevkilerinde aynı değerde (%3,72), 6 nolu Sıyrınçaç mevkiinde %2,91 ve 7 nolu Kırkpınar mevkiinde en yüksek (%3,81) düzeye ulaşmıştır (Tablo 2). Elde edilen bu değişken bulgular toprakların oluştuğu ana materyalin yanı sıra toprak tekstürü, alanın topoğrafyası ve zamanın ortak etkileşimi ile değerlendirilebilir. Benzer araştırma sonuçları ve organik madde miktarlarındaki değişkenlik Durak (2014)'ün çalışmasında da gözlenmiştir.

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* topraklarının organik karbon içerikleri (%) de organik madde içeriğine (%) bağlı olarak aynı oranda değişkenlik göstermektedir. Sonuçta organik karbon içeriği ile 1,72 katsayısının çarpılması ile organik madde miktarı temin edilebilmektedir. O nedenle her iki sonuç birbiri ile paralellik sergilemektedir ve sonuçlar aynı şekilde yorumlanabilmektedir. Aynı toprakların toplam azot içeriği ise yine birbirleri arasında çok değişken olup %0,079-%0,337 arasındadır (Tablo 3). Bu değerler bitkinin yayılım gösterdiği alanın organik madde içeriği ve topoğrafik yapısı ile açıklanabilir. Toprağın taşındığı ve eğimli arazilerde yer alan Ak Navruz bireylerine ait topraklarda azot içeriğinde düşüş gözlenebilmektedir. Toprak organik maddesi ortamın pH'ı, bitki besin elementleri içeriği ve N mineralizasyon oranları gibi toprak özelliklerinin yanı sıra arazi kullanımı,

topoğrafik yapı, iklim özellikleri ve konuma bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Yihenew ve Getachew, 2013; Özalp ve ark., 2016).

Tablo 3. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının organik karbon (C), toplam azot (N) ve C/N oranları ($n=3$, ortalama \pm standart hata).

Lokaliteler	Organik karbon		Toplam Azot		C/N
	(C _{org} , %)		(N, %)		
1. Bağdaş_Elmacık	2,16	\pm 0,01	0,337	\pm 0,010	6,43 \pm 0,19
2.Andırın_Çiğsar	0,99	\pm 0,01	0,111	\pm 0,002	8,99 \pm 0,25
3.Bağdaş_Demircik1	0,86	\pm 0,03	0,088	\pm 0,002	9,72 \pm 0,35
4.Bağdaş_Demircik2	0,88	\pm 0,01	0,085	\pm 0,001	10,38 \pm 0,09
5.Bağdaş_Çevresi	0,94	\pm 0,02	0,112	\pm 0,001	8,42 \pm 0,18
6.Sıyrıncaç	1,69	\pm 0,02	0,204	\pm 0,004	8,28 \pm 0,16
7.Kırkpınar	2,22	\pm 0,03	0,330	\pm 0,003	6,72 \pm 0,16
8.Değirmendere_Kale	1,48	\pm 0,04	0,151	\pm 0,001	9,84 \pm 0,28
9.Tahtaköyü_Nergizli	0,86	\pm 0,01	0,079	\pm 0,002	10,92 \pm 0,22
10.Tahtaköyü_Dikenli	2,16	\pm 0,01	0,307	\pm 0,006	7,05 \pm 0,15

Iris topraklarının C/N oranı ise 6,43-10,92 arasında değişiklik göstermektedir. Bu oranların 10 düzeyinde olması durumunda toprakların dengede olduğu söylenebilir. Toprakların C/N oranları, toprak humusunun yapısı ve ayrışma düzeyi ile ilgili fikir vermektedir (Brady ve Weil, 2008). C/N oranının topraklarda artması o toprağın organik maddesinin ayrışma düzeyinin yavaş olduğunu, bu oranın düşük olması ise ayrışmanın fazla olduğunu göstergesidir. Toprakların C/N oranları organik madde mineralizasyonunun yorumlanabilmesi için anlamlı bir sonuçtur (Tisdale ve Nelson, 1985; Sakin ve Sakin, 2014).

3.2. Araştırma Topraklarının Bazı Mikro Element Analiz Sonuçları

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* topraklarının Fe, Cu, Zn ve Mn (mg/kg) içeriklerine ait bulgular ve bu bulguların değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur (Tablo 4).

Toprakların Fe, Cu, Zn ve Mn içerikleri (mg/kg) sırasıyla 11,17-21,16; 0,74-3,41; 0,97-5,77 ve 4,41-21,03 arasında değişim göstermektedir (Tablo 4). Bu düşük değerlerin değişkenliği özellikle toprakların pH ve kireç içeriklerine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Nitekim *Iris* topraklarının Tablo 4.2’de sunulan pH ve CaCO₃ sonuçları (%) incelendiğinde Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinin (mg/kg) değişkenliği açıklanabilmektedir. Fe ve Zn noksanlığı probleminin genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerin pH değeri yüksek, kireçli, killi, organik maddece düşük (veya çok yüksek) ve tuzlu topraklarında rastlanmaktadır (Miller ve ark., 1984; Takkar ve Walker, 1993; Awad ve ark., 1994).

Tablo 4. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının Fe, Cu, Zn ve Mn (mg/kg) içerikleri (n=3, ortalama ± standart hata)

Lokaliteler	Fe				Cu				Zn				Mn			
	(mg/kg)				(mg/kg)				(mg/kg)				(mg/kg)			
1. Bağdaş_Elmacık	19,42	±	0,36	2,10	±	0,036	3,69	±	0,03	15,48	±	0,05				
2. Andırın_Çığsar	12,65	±	0,11	3,41	±	0,060	2,07	±	0,05	12,01	±	0,04				
3. Bağdaş_Demircik1	12,72	±	0,14	1,04	±	0,020	3,63	±	0,07	7,17	±	0,10				
4. Bağdaş_Demircik2	14,24	±	0,28	0,83	±	0,011	5,77	±	0,12	5,53	±	0,08				
5. Bağdaş_Çevresi	11,17	±	0,14	1,22	±	0,005	1,11	±	0,02	4,41	±	0,06				
6. Sıyrınç	15,60	±	0,15	1,25	±	0,079	5,29	±	0,08	10,50	±	0,14				
7. Kırkpınar	18,53	±	0,25	0,85	±	0,005	2,63	±	0,06	21,03	±	0,32				
8. Değirmendere_Kale	13,22	±	0,09	0,74	±	0,004	1,25	±	0,01	20,32	±	0,13				
9. Tahtaköyü_Nergizli	11,30	±	0,10	0,76	±	0,008	0,97	±	0,01	9,08	±	0,05				
10. Tahtaköyü_Dikenli	21,16	±	0,51	0,96	±	0,005	2,63	±	0,09	17,86	±	0,16				

Karanlık ve ark. (1998), Orta Anadolu ve Çukurova Bölgesi topraklarının total mikro element içerikleri yönünden zengin olduğunu (Fe: 32951-39371 mg/kg, , Cu: 25-59 mg/kg, Zn: 40-80 mg/kg, Mn: 603-860 mg/kg) belirlemişlerdir. Ancak buna karşılık, yüksek pH ve kireç içeriğinin yanı sıra toprakların kil miktarı ve düşük organik madde içerikleri gibi çeşitli toprak özelliklerinin de mikro elementlerin bitkilere yararlılığını önemli ölçüde sınırladığını belirlemişlerdir. Ayrıca topraktaki Cu, Ni, Co, Zn, Cr, Mn gibi element içeriklerinin kötü bünye özellikleri ve aşırı sulama sonucu oluşan olumsuz koşullara göre değişebileceğini göstermektedir (Shi ve ark., 1993, Başar 1995, Alcantara ve ark., 2000, Yerli ve ark., 2020).

3.3. Araştırma Topraklarının Diğer Bazı Makro Element Analiz Sonuçları

Iris stenophylla subsp. *margaretiae* topraklarının P (mg/kg), K (mg/kg), Ca (%), Mg (mg/kg) ve Na (mg/kg) içerikleri ait bulgular ve bunların değerlendirmesi aşağıda sunulmuştur (Tablo 5).

0-20 cm'den örneklermiş *Iris* topraklarının P, K, Ca, Mg ve Na içerikleri (mg/kg) sırasıyla 5,550-15,000; 241,60-488,33; 0,36-3,29; 207,61-322,92; 98,01-121,18 arasında değişiklik göstermekte (Tablo 5) olup bu değerler toprakların eşik değerlerine göre ayrı ayrı sınıflandırılarak değerlendirildiğinde; potasyum 140-370 yeterli, magnezyum 160-480 yeterli, kalsiyum 3500-10000 fazla, 68-230 orta ve 2,5-8,0 az ile 8,0-25,0 yeterli olarak belirlenmiştir (FAO, 1990). *Iris* topraklarının analiz edilmiş bu element içerikleri özellikle K, Mg ve P'de yeterli düzeyde belirlenmiş iken Ca içeriği fazla Na ortadır. Bu değerler benzer çalışmalarda elde edilmiş sonuçlar ile uyum göstermektedir (Özyazıcı ve ark., 2015; Arslan ve ark., 2019).

Tablo 5. *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* topraklarının P (mg/kg), K (mg/kg), Ca (%), Mg (mg/kg) ve Na (mg/kg) içerikleri (n=3, ortalama ± standart hata)

Lokaliteler	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (%)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)
1. Bağdaş_Elmacık	13,043 ± 0,410	275,67 ± 0,85	0,84 ± 0,005	244,81 ± 1,222	98,01 ± 1,164
2.Andırın_Çığırsar	9,520 ± 0,272	246,26 ± 1,50	3,09 ± 0,040	269,00 ± 1,465	114,84 ± 0,523
3.Bağdaş_Demircik1	5,550 ± 0,255	413,75 ± 8,61	2,76 ± 0,040	265,83 ± 3,036	109,61 ± 0,342
4.Bağdaş_Demircik2	7,340 ± 0,127	354,42 ± 7,73	3,25 ± 0,115	252,17 ± 6,302	106,11 ± 0,918
5.Bağdaş_Çevresi	6,527 ± 0,299	241,60 ± 2,45	2,49 ± 0,005	322,92 ± 4,144	116,47 ± 1,527
6.Sıyırıncaç	11,890 ± 0,165	261,27 ± 5,16	2,86 ± 0,032	262,92 ± 2,063	121,18 ± 0,858
7.Kırkpınar	6,250 ± 0,115	449,33 ± 16,62	3,29 ± 0,030	304,17 ± 1,938	110,49 ± 1,848
8.Değirmendere_Kale	8,343 ± 0,343	278,42 ± 4,71	0,36 ± 0,003	207,63 ± 0,762	104,64 ± 1,164
9.Tahtaköyü_Nergizli	15,000 ± 0,394	322,50 ± 1,80	1,49 ± 0,012	234,54 ± 2,977	111,29 ± 2,293
10.Tahtaköyü_Dikenli	5,857 ± 0,049	488,33 ± 13,29	0,49 ± 0,011	207,61 ± 1,306	101,49 ± 1,945

4. Sonuç

Bu çalışma sonuçları Osmaniye'nin Kadirli ilçesi ve Sumbas ilçe sınırı ile Kahramanmaraş-Osmaniye il sınırında bulunan Kahramanmaraş'a bağlı Andırın ilçe sınırında yayılım gösteren *Iris stenophylla* subsp. *margaretiae* (Ak Navruz) topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya koymuş olup endemik bir tür olan bu bitkinin Osmaniye Bölgesi ve ülkemiz açısından ekolojik değerlendirmesinin yapıldığı ilk araştırma olma niteliği taşımaktadır. Elde edilen bulgular bitkinin eğimli arazilerde yayılım gösterdiğini ve topraklarının hafif alkali, değişken kireç içeriği ve yine değişken makro-mikro element içerikleri ile yaşadığı alana adapte olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesine OKÜBAP-2021-PT3-008 kodlu proje desteği ile katkı sağlayan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimine ve Çukurova Üniversitesi Toprak Bölümü Bitki Besleme Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederiz. Ayrıca çalışmanın yürütülmesinde, örneklik alanların tespitinde, numune temininde ve "Osmaniye İli Ak Navruz (*Iris stenophylla* subsp. *margaretiae*) Tür Eylem Planı" kapsamında veri teminine olanak sağladıkları için Tarım ve Orman Bakanlığı 7. Bölge Osmaniye İl Şube Müdürlüğü'ne minnetlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu alışma Hüseyin KARLILAR'ın Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda yürütölmüş yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- Alcantara E., Romera FJ., Canete M., Ve De La Guardia MD. Effects of bicarbonate and iron supply on fe (iii) reducing capacity of roots and leaf chlorosis of the susceptible peach rootstock nemaguard. *J. Plant Nutrition* 2000; 23(11&12): 1607-1617.
- Allison LE., Moodie CD. Carbonate. *American Society of Agronomy* 1965; 9–15.
- Anne P. Carbone organique (total) du sol et de l'humus. *Ann. Agron.*, 1945; 15: 161-172.
- Anonim. Kurak ve yarı kurak alanlarda ağaçlandırma ve rehabilitasyon rehberi. Ankara. T.C. Orman ve Su İşleri Başkanlığı, Erozyon Kontrolü Daire Başkanlığı, ölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, 2013.
- Arslan E., aycı G., Dengiz O., Yüksel M., Atikmen N. Toprakların bazı makro besin elementi içeriklerinin farklı tarımsal arazi kullanımları altında konumsal dağılımlarının belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi* 2019; 7(2): 28-37.
- Atalay İ. Türkiye coğrafyası. Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir, 1994.
- Awad F., Romheld V. Ve Marschner H. Effect of root exudates on mobilization in the rhizosphere and uptake of iron by wheat plants. *Plant and Soil* 1994; 165, 213-218.
- Başar H. Şeftali ağalarında görölen demir klorozunun değerlendirilmesinde eşitli analiz yöntemlerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi. U.Ü.Z.F. s.150, 1995.
- Brady NC., Weil RR. The nature and properties of soils. ISBN: 978-0-13-227938-3. Pearson Prentice Hal Inc., New Jersey USA., 2008; 1-965.
- Bremner JM. Total nitrogen. In: Black C.A. (Ed). *Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9, American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1149–1178, 1965.*
- Bouyoucos GS. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal* 1951; 43(9): 434–438.
- Davis PH. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol.1, University Press, March–Edinburgh, 1965.*
- Davis PH. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol.2, University Press, November–Edinburgh, 1966.*
- Davis PH. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol.6, University Press, November–Edinburgh, 1977.*
- Demir A. Sürdürülebilir gelişmede yükselen değer; biyolojik çeşitlilik açısından Türkiye değerlendirmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2013; 24, 67-74.
- Demiralay I. *Soil physical analysis methods. Atatürk University Agricultural Faculty Publications, 1993; 131, Erzurum.*

- Durak A. Yeşilirmak nehir teraslarında toprakların oluşumu ve sınıflandırılması. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 2014; 2(2): 98-105.
- Ekim T., Türkiye'nin endemik bitki türleri. TÜBİTAK, TBAGDPT/Ç.SEK-4, Ankara, 1998.
- Garten CT., Huston MA., Thoms CA., Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker Branch Watershed, Tennessee. Forest Sci, 1994; 40: 497-512.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler) Nezahat Gökyiğit Botanik bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 2012.
- Jackson ML. Soil chemical analysis. PrenticeHall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 1958; 498.
- Kara Ö., Bolat İ. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey. Land Degradation and Development 2008; 19(4): 421-428.
- Karahan G., Erşahin S., Öztürk HS. Toprak koşullarına bağlı olarak tarla kapasitesi dinamiği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2014; 30(1): 1-11.
- Karanlık S., Erenoğlu B., Derici R., Çakmak İ. Orta Anadolu, Çukurova ve Gap Bölgeleri topraklarının değişik fraksiyonlarındaki mikro element konsantrasyonlarının belirlenmesi. I. Ulusal Çinko Kongresi, 779-782, Eskişehir, 12-16 Mayıs, 1998.
- Knudsen D., Peterson GA., Pratt PF. Lithium, sodium and potassium. In: A.L. Page (ed) Methods of soil analysis Part 2. Agronomy Monograph 9. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison WI, 1982.
- Küçük M., Yener İ. Farklı arazi kullanımlarının toprakların bazı özellikleri ve azot mineralizasyonu üzerindeki etkisi (Rize, Kalkandere Örneği). Bartın Orman Fakültesi Dergisi 2019; 21(3): 899-910.
- Lindsay WL., Norvell WA. Development of a Dtpa soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science. Society of America Journal 1978; 42: 421-428.
- Miller GW., Pushnik JC., Welkie GW. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. Journal of Plant Nutrition 1984; 7(15): 1-22.
- Oğuz İ., Acar M. Tokat Kazova koşullarında farklı arazi kullanım türlerinin bazı toprak özellikleri üzerine etkisinin araştırılması. GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi 2011; 28(2): 171-178.
- Olsen SR., Cole CV., Watanabe FS., Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with NaHCO₃, USDA Cir.939. U.S. Washington, 1954.
- Orman Bakanlığı Tür Koruma Eylem Planı, Ankara, 2014.
- Özalp M., Yüksel EE., Yüksek T. Soil property changes after conversion from forest to pasture in mount sacinka, Artvin, Turkey, Land Degrad. Develop., 2016; 27: 1007-1017.
- Özhatay N., Kültür Ş. Check-list of additional taxa to the supplement flora of Turkey III. Turkish Journal of Botany 2006; 30: 281-316.
- Özyazıcı MA., Dengiz O., Aydoğan M., Bayraklı B., Kesim E., Urla Ö., Yıldız H., Ünal E. Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi tarım topraklarının bazı makro ve mikro bitki besin maddesi

- konsantrasyonları ve ters mesafe ağırlık yöntemi (ıdw) ile haritalanması. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 2015; 16(2): 187-202.
- Powers RF. Nitrogen mineralization along an altitudinal gradient: interactions of soil temperature, moisture, and substrate quality, *Forest Ecol. Manag.*, 1990; 30, 19-29.
- Pritchett WL. Properties and Management of Forest Soils. John Willey and Sons, N.Y., 1979.
- Sakin E., Sakin ED. Important of ratio C:N with carbon and nitrogen amounts at soils. *International Mesopotamia Agriculture Congress / 22-25 September, Diyarbakır-Turkey*, 2014; 273-275.
- Shi Y., Byrne DH., Reed DW. Influence of bicarbonate level on iron chlorosis development and nutrient uptake of the peach rootstock Montclar. *Journal of Plant Nutrition* 1993; 16(9): 1675-1689.
- Takkar PN., Walker CD. The distribution and correction of zinc deficiency. In: Robson Ad (Ed) *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 151-166, 1993.
- Yerli C., Çakmakçı T., Şahin Ü., Tüfenkçi Ş. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 2020; 9: 103-114.



Türkiye’de Damızlık Olarak Kullanılan Siyah Alaca (Holstein) Irkı Boğalarda Gözlenen Genetik Darboğaz

İlke ÜNLÜSOY^{1*}

¹Uluslararası Hayvancılık Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Islah ve Genetik Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

¹<https://orcid.org/0000-0002-0170-9957>

*Sorumlu yazar: ilke.unlusoy@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.04.2022

Kabul tarihi: 17.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Siyah Alaca

Damızlık boğa

Darboğaz

Mikrosatellit

Bir darboğaz ne kadar yakın zamanda olursa yönetim prosedürleriyle zararlı etkilerinden kaçınılması veya en aza indirilme olasılığı o kadar yüksek olur. Sayıca çok büyük popülasyonların bile ciddi bir genetik darboğaz yaşaması muhtemeldir. Suni tohumlamanın yaygınlaşması ve küresel sperma ticareti yüksek verimli boğaların spermalarının tüm dünyada baskın olarak kullanılmasına alt yapı oluşturmuştur. Dünyada sütçü ırk olarak en çok yetiştirilen Holstein ineklerin tohumlanmasında özellikle bazı ülkelerin yetiştirdiği boğalara ait spermalar küresel çapta yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek verim elde etmek için uygulanan yoğun seleksiyon programları ise çoğunlukla allel kayıplarıyla sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de Holstein inek popülasyonlarını tohumlamak için kullanılan damızlık boğaların herhangi bir darboğaz etkisi altında kalıp kalmadığı araştırılmıştır. Bunun için Türkiye’de üretilen ve Türkiye’ye ithal edilen yüksek verimli 300 baş Holstein boğaya ait sperma materyal olarak kullanılmıştır. On mikrosatellit lokus temel alınarak Bottleneck v.1.2.02 programı aracılığıyla Aşamalı Mutasyon Modeli ve İki Fazlı Mutasyon Modeli altında İşaret ve Wilcoxon Testlerine tabi tutularak darboğaz değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca Mod-Kayması analizi ile darboğazın yakın zamanda olup olmadığı da yorumlanmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, 3 kıtada (Asya, Avrupa, Amerika) 13 ülke tarafından yetiştirilen toplam 300 baş Holstein boğanın geçmişte bir darboğaz etkisi altında kaldığı ancak bu darboğazın yakın zamanda gerçekleşmiş bir darboğaz olmadığı sonucuna varılmıştır.

Observed Genetic Bottleneck in Holstein Bulls Used As Stud in Türkiye

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 05.04.2022

Accepted: 17.08.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Holstein

Stud bull

Bottleneck

Microsatellite

The more recent a bottleneck occurs, the more likely it is that its harmful effects will be avoided or minimized by management procedures. Even very large populations are likely to experience a severe bottleneck. The spread of artificial insemination and the global semen trade have provided worldwide use of the semen from the high-yielding bulls. In Holstein cows, which are the most common dairy breeds, the semen from bulls raised by especially some countries are used globally. In addition, intensive selection programs applied to obtain high yield often result in allele losses. In this study, it was investigated whether breeding bulls used to inseminate Holstein cows in Türkiye were under any bottleneck effect or not. For this purpose, the semen from 300 high-yielding Holstein bulls produced in and imported to Türkiye was used as the material of the study. The bottleneck assessment was carried

out by using Sign and Wilcoxon Tests under Stepwise Mutation Model and Two-Phase Mutation Model using Bottleneck v.1.2.02 program based on ten microsatellite loci. In addition, Mode-Shift analysis has also been interpreted to understand whether the bottleneck is recent or not. Based on this, it was concluded that a total of 300 Holstein bulls bred by 13 countries in 3 continents (Asia, Europe, Americas) were under pressure of a bottleneck effect in the past, but this bottleneck did not occurred in the recent time.

To Cite: Ünlüsoy İ. Türkiye’de Damızlık Olarak Kullanılan Siyah Alaca (Holstein) Irkı Boğalarda Gözlenen Genetik Darboğaz. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1647-1655.

1. Giriş

Holstein (Siyah Alaca) ırkı tüm dünyada ağırlıklı olarak yetiştirilen sütçü ırktır ancak bu ırkın uluslararası ticaretinde özellikle bazı ülkelerin hakimiyeti dikkat çekmektedir (Notter, 1999). Suni tohumlama uygulamalarının yaygınlaşması ve küresel sperma ticareti genetik materyalin uluslararası aktarımını kolaylaştırmıştır (Groeneveld ve ark., 2010). Sperma ticaretine hakim birkaç ülkenin popülasyonlarından gelen allellerin dünyadaki diğer popülasyonları istilası da muhtemel bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumun popülasyonların genetik çeşitliliğinde azalmaya yol açacağı bildirilmiştir (Philipsson, 1987). Bazı boğaların ağırlıklı olarak kullanımının genetik sürüklenme olasılığını arttırdığı da bilinmektedir (Notter, 1999). Ayrıca yüksek verim elde etmek için uygulanan yoğun seleksiyon programları, popülasyonlarda allel fiksasyonuna yol açarak, özellikle minör allellerin kaybına sebep olmaktadır (Boichard ve ark., 2015).

Genetik darboğazlar bir popülasyondaki genetik çeşitliliğin azalmasının ve genetik sürüklenmenin sebeplerini oluştururlar (Li ve Roosinck, 2004). Popülasyonların yok olma risklerini arttırdığından dolayı, darboğazların tespiti özellikle genetik kaynakların korunması için önem arz etmektedir (Piry ve ark., 1999). Bir darboğaz ne kadar yakın zamanda olursa zararlı etkilerinden sürü yönetim prosedürleriyle kaçınılması veya en aza indirilme olasılığı o kadar yüksek olur. Çok büyük popülasyonların bile ciddi bir darboğaz yaşaması muhtemeldir. Örneğin popülasyonlarda sadece birkaç erkeğin tüm dişilerle çiftleşmesi popülasyonu ciddi bir darboğaza iter (Luikart ve ark., 1998). Holstein ırkının tarihsel yayılımında, küresel çapta damızlık olarak aktif rol oynayan Holstein boğaların geçmişte sınırlı sayıda babadan köken alan damızlıklar olduğu bildirilmiştir (Notter, 1999). Genetik belirteçlerin geçmişte yaşanmış demografik daralmaları tespit etmek için kullanışlı araçlar olduğu bildirilmiştir (Storz ve Beaumont, 2002). Tüm çiftlik hayvanlarında SNP belirteçler ile yapılan çalışmalarının yanı sıra (Mucha ve ark., 2018; Freebern ve ark., 2020; Zepeda-Batista ve ark., 2021; Yılmaz ve ark., 2022) mikrosatellit belirteçlerle yapılan çalışmalara da (Garkovenko ve ark., 2018; Agung ve ark., 2019; Rahal ve ark., 2021) sıklıkla rastlanmaktadır. Mikrosatellitler memeli genomunda yüksek oranda polimorfizm sergileyen ve genom çapında yoğun olarak dağılım gösteren belirteçlerdir. Bu sebeple popülasyon genetiği varsayımları için mikrosatellit kullanılarak yapılan modellemeler sıklıkla kullanılmaktadır (Sainudiin ve ark., 2004). Mikrosatellitler için farklı mutasyon modelleri önerilmektedir. Düşük ve orta frekanslardaki beklenen allel oranı belirli bir lokustaki mutasyon oranı ve mutasyon modeline göre değişecektir (Luikart ve ark., 1998). Aşamalı Mutasyon

Modeli (SMM: Stepwise Mutation Model) mikrosatellitler için önerilmiş bir mutasyon modelidir ve bir tekrar biriminin kaybı veya kazanılması sonucunda oluşan mutasyonlar üzerinden hesaplama yapar (Ohta ve Kimura, 1973). Ancak, SMM'de en büyük alellerin daha küçük boyutlu alellere mutasyonu gibi bir mutasyon yanlılığı bulunmaktadır (Ellegren, 2004). SMM genellikle dinükleotid mikrosatellitleri test ederken daha uygundur (Luikart ve Cornuet, 1998). İki Fazlı Mutasyon Modeli (TPM: Two-Phase Mutation Model) çoğu mikrosatellit için önerilmekte olup SMM'den daha doğru bir modelleme yaptığı bildirilmiştir. Çünkü TPM, mutasyonların tekrar birimleri arasında daha büyük atlamalar olma ihtimalini de değerlendirir (Di Rienzo ve ark., 1994).

Popülasyonlarda az miktarda heterozigotluk fazlalığı ya da azlığının gözlenmesi olası bir durumdur. Ancak darboğazdaki popülasyonlar anlamlı ($P < 0,05$) bir heterozigotluk fazlalığı sergilerler (Luikart ve Cornuet, 1998). Bunun için 3 önemli istatistiksel test kullanılmaktadır. İşaret Testi (Sign Test), Standartlaştırılmış Farklılıklar Testi (Standardized Differences Test) ve Wilcoxon Testi ile heterozigotluk fazlalığı dikkate alınarak popülasyonun bir darboğaz etkisi altında kalıp kalmadığı değerlendirilir (Piry ve ark., 1999). İşaret Testi en az 5 polimorfik lokus ve en az 20 bireyle hesaplama yapar (Luikart ve Cornuet, 1998). Standartlaştırılmış Farklılıklar Testi ise en az 20 polimorfik lokus kullanıldığında güvenilir sonuçlar verir. Çoğu mikrosatellit verisi için Wilcoxon Testinin en uygun ve en güçlü hesaplamayı yaptığı bildirilmiştir. Darboğaz yaşayan bir popülasyonda, bu darboğazın yakın zamanda olup olmadığının incelenmesi Mod-Kayması (Mode-Shift) analizi ile belirlenir (Piry ve ark., 1999). Düşük frekanstaki ($< 0,1$) aleller normalde ara frekanstaki alellerden daha fazla bulunur ve bu dengede değişiklik olduğunda popülasyonda belirlenen darboğazın yakın zamanda oluştuğu kanaati doğar (Nel ve ark., 1976). Yakın zaman birkaç nesil ile ifade edilir ve etkin popülasyon büyüklüğü (N_e) üzerinden hesaplanır (Piry ve ark., 1999). Ancak mod kaymasının saptanmadığı bir popülasyonda darboğazın oluşmadığı sonucuna varılamaz. Yaşanan bir darboğaz yakın zamanda oluşmadıysa bile 40 ila 80 nesil boyunca saptanması muhtemeldir ve sonrasında yeni mutasyonlar mutasyon-sürüklenme dengesini yeniden kurulmaya başlar (Luikart ve ark., 1998). Ancak popülasyonların maruz kaldığı yoğun seleksiyonun yeni nesillerde oluşacak mutasyon oranlarında azalmaya sebep olduğu da bildirilmiştir (Lynch ve ark., 2016).

Biyolojik çeşitlilik sözleşmesi ilk defa 150'den fazla ülke tarafından 1992'de imzalanmıştır (Tamminen, 2015). Genetik kaynakların yönetimi için oluşturulan küresel eylem planları stratejik olarak öncelikli alanlardandır (FAO, 2007). Hayvanlarda popülasyonun büyüklüğü, coğrafi dağılımı, üretiminin planlanması ve genetik çeşitliliği dikkate alınarak kapsamlı bir bilgi havuzu oluşturulması bu amaca hizmet etmektedir (Groeneveld ve ark., 2010). Ancak yapılan çalışmalar çoğunlukla sayıları azalmış yerli ırklar için uygulanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı ise dünyada en yaygın yetiştirilen Holstein ırkının, küresel çapta damızlık olarak kullanılan boğaları temel alınarak, geçmişte herhangi bir darboğaz etkisi altında kalıp kalmadığının değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırma, Türkiye’de üretilen ve Türkiye’ye ithal edilen yüksek verimli 300 baş Holstein boğaya ait spermanın Uluslararası Hayvancılık Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğündeki resmi mikrosatellit fragment analiz verileri kullanılarak yapılmıştır. Materyal olarak kullanılan ithal spermalar 10 Avrupa ülkesi ve 2 Amerika ülkesi olmak üzere toplam 12 ülke tarafından yetiştirilen 263 Holstein boğaya aittir. Türkiye’de üretilenler ise farklı illere kayıtlı 37 baş Holstein boğaya ait spermalardır. Mikrosatellit fragment analizi ABI 3130 Genetic Analyzer cihazı kullanılarak yapılmış olup sinyalizasyonlar GeneMapper® Software Version 4.0 ile görüntülenmiştir. Görsel olarak da değerlendirilen sinyallerden arka plan kirliliği olanlar değerlendirmeden çıkarılmıştır. Veri düzenlemeleri ve format değişiklikleri R 3.6.3 (R Development Core Team, 2019) programı ile yapılmıştır. Tüm bu değerlendirmelerden sonra 10 mikrosatellit lokus (BM2113, BM1824, TGLA126, TGLA122, TGLA53, ETH225, ETH10, ETH3, SPS115, INRA23) temel alınarak Bottleneck v.1.2.02 (Cornuet ve Luikart, 1996) programı aracılığıyla darboğaz analizlerine tabi tutulmuştur. Analizlerde mikrosatellit verilerine uygun olan SMM ve TPM temel alınarak yapılan modellemeler kullanılmıştır. Heterozigotluk ile ilişkili hesaplamalar için mevcut lokus sayısı ve örnek sayısı için uygun olan İşaret Testi ve Wilcoxon Testi kullanılmıştır. Nihayetinde heterozigotluk fazlalığı temel alınarak 300 baş damızlık Holstein boğanın geçmişte bir darboğaz etkisi altında kalıp kalmadığı değerlendirilmiştir. TPM için varyans ve TPM’deki SMM oranı için varsayılan (default) değerler kullanılmıştır. Hesaplamalar için bilgisayar simülasyonu ile 1000 tekrar (iterasyon) yapılmıştır. Ayrıca Mod-Kayması analizi ile darboğazın yakın zamanda olup olmadığı da yorumlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bottleneck v.1.2.02 (Cornuet ve Luikart, 1996) programı kullanılarak 2 mutasyon modeli (SMM, TPM) altında lokusların heterozigotluk hesaplamaları, İşaret Testi ve Wilcoxon Test sonuçları ve Mod-Kayması sonuçları değerlendirilmiştir.

Darboğaz etkisi altında kalan popülasyonlarda Hardy-Weinberg dengesi altında beklenen heterozigotluk, mutasyon modelleri altında beklenen heterozigotluktan daha yüksek olacaktır. Buna göre lokusların heterozigotluk hesaplamalarına göre (Tablo 1) yapılan değerlendirmede SMM altında 2 lokusta, TPM altında ise 10 lokusta heterozigotluk fazlalığı gözlenmiştir. Heterozigotluk fazlalığı olan tüm lokuslarda DH/sd değerinin pozitif değer aldığı ve heterozigotluk arttıkça sıfır değerinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Heterozigotluk azlığı olan lokuslarda ise DH/sd değerinin negatif olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. Lokusların heterozigotluk hesaplamaları

<i>lokuslar</i>	<i>Mevcut örneklem</i>			<i>TPM altında</i>				<i>SMM altında</i>			
	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>He</i>	<i>Heq</i>	<i>S.D.</i>	<i>DH/sd</i>	<i>Prob</i>	<i>Heq</i>	<i>S.D.</i>	<i>DH/sd</i>	<i>Prob</i>
<i>BMI824</i>	600	5	0,666	0,515	0,149	1,011	0,1590	0,640	0,095	0,265	0,4910
<i>BM2113</i>	576	6	0,679	0,590	0,129	0,683	0,2890	0,704	0,074	-0,341	0,2920
<i>ETH10</i>	596	8	0,715	0,687	0,093	0,309	0,4370	0,781	0,049	-1,325	0,0990
<i>ETH225</i>	600	7	0,666	0,641	0,116	0,214	0,4990	0,745	0,062	-1,279	0,1060
<i>ETH3</i>	600	5	0,674	0,522	0,147	1,029	0,1250	0,642	0,093	0,347	0,4530
<i>INRA23</i>	600	7	0,740	0,632	0,112	0,965	0,1550	0,744	0,063	-0,056	0,3780
<i>SPS115</i>	574	3	0,378	0,314	0,184	0,350	0,4310	0,421	0,142	-0,305	0,3260
<i>TGL122</i>	598	11	0,824	0,763	0,067	0,912	0,1740	0,840	0,033	-0,494	0,2620
<i>TGL126</i>	600	5	0,599	0,524	0,150	0,501	0,3820	0,644	0,088	-0,512	0,2340
<i>TGL53</i>	600	13	0,855	0,801	0,057	0,928	0,1550	0,868	0,026	-0,524	0,2390

n: Haploid genotip sayısı, k: Allel sayısı, He: HW dengesinde beklenen heterozigotluk, Heq: Mutasyon-Sürüklenme dengesinde beklenen heterozigotluk, S.D.: Standart sapma, DH/sd: Heterozigotluklar arası standartlaştırılmış fark (He-Heq/SD). Prob: Heterozigotluğun (H) beklenen heterozigotluktan (Heq) yüksek olma olasılığı.

Bir çalışmada (Cornuet ve Luikart, 1996) heterozigotluk fazlalığı olan lokuslarda SMM altındaki Prob değerinin 0,4 ile 0,6 arasında olduğuna dikkat çekilmiştir. Mevcut çalışmada da SMM altında heterozigotluk fazlalığı olan lokuslardaki Prob değerleri de benzer bulunmuştur (0,45 ve 0,49). Ancak TPM altında ise tüm lokuslar heterozigotluk fazlalığı göstermesine rağmen Prob değerlerinin 0,1-0,5 arasında değiştiği gözlenmektedir. Buna göre SMM ve TPM altında yapılan Prob hesaplamaları birbirinden ciddi oranda farklılaşmaktadır.

Darboğaz değerlendirmesinde (Tablo 2) TPM altında yapılan İşaret test sonuçlarına göre 10 mikrosatellit lokusun tamamında heterozigotluk fazlalığı tespit edilmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Yine SMM kullanılarak yapılan İşaret Testinde heterozigotluk fazlalığı olan 2 mikrosatellit lokus tespit edilmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). SMM modeli altında yapılan Wilcoxon Test sonuçlarına göre heterozigotluk fazlalığı önemsiz ($P>0,05$) bulunurken TPM modeli altında gerçekleştirilen Wilcoxon Testi sonuçlarına göre ise heterozigotluk fazlalığı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$).

Tablo 2. Farklı mutasyon modelleri altında darboğaz testleri

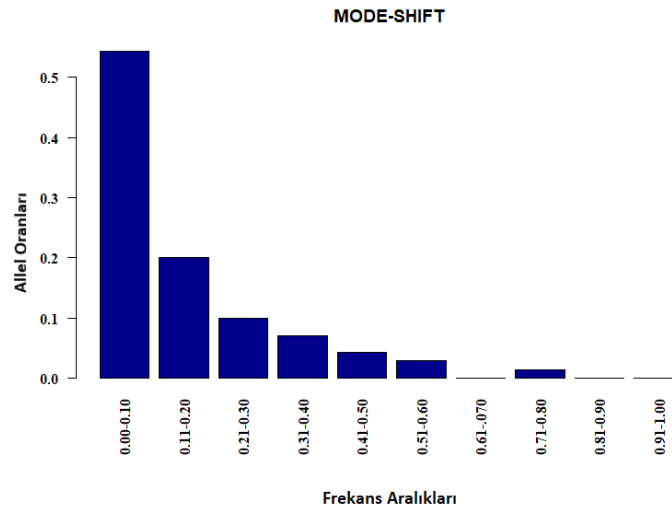
<i>Test</i>	<i>SMM</i>	<i>TPM</i>
<i>İşaret Test</i>		
<i>H fazlalığı olan beklenen lokus sayısı:</i>	5,95	5,79
<i>H fazlalığı olan lokus sayısı:</i>	2	10
<i>Olasılık:</i>	0,01346*	0,00421**
<i>Wilcoxon Test</i>		
<i>Olasılık (H fazlalığı için tek yönlü test)</i>	0,99316	0,00049***

H: heterozigotluk, * : $P<0,05$, ** : $P<0,01$, *** : $P<0,001$.

Holstein'dan farklı sığır ırklarında yapılan bazı çalışmalarda popülasyonların darboğaz etkisi altında kalmadığı bildirilmiştir (Ilie ve ark., 2015; Kramarenko ve ark., 2018). Holstein ırkı sığırlarla ise sayılı darboğaz çalışmasına rastlanmıştır. Türkiye'deki Holstein sığır ırkıyla yapılan bir çalışmada (Demir ve

Balcıoğlu, 2019) darboğaz analiz sonuçları istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Yine Holstein sığır ırkının da dahil olduğu sütçü ineklerle yapılan başka bir çalışmada (Shelyov ve ark., 2021) darboğaz analiz sonuçları istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak tarafımızca yapılan mevcut çalışmada 4 darboğaz analizinin 3'ünde sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Allel frekansları baz alınarak hesaplanan allel oranlarını dikkate alarak oluşturulan grafik ile mod kayması olup olmadığı değerlendirilmiştir (Şekil 1). Buna göre popülasyonda nadir allellerin diğer frekanstaki allellere oranla daha fazla gözlemlendiği tespit edilmiştir. Allel frekansı arttıkça gözlenen allel sayılarında düşüş gözlenmektedir. Mod-Kayması değerlendirme sonuçlarına göre oluşturulan çubuk grafiğinde de gözlemlendiği gibi alleller normal L-şekilli bir dağılım sergilemektedir.



Şekil 1. Mod-kayması grafiği. Normal L-şekilli dağılım.

4. Sonuç

Bu çalışmada kullanılan materyalin 3 kıtadaki 13 ülkede yetiştirilen 300 baş boğadan sağlanmış olması sebebiyle, Holstein ırkı için temsil gücü yüksek bir popülasyon ile çalışılmıştır. Holstein ırkı için darboğaz değerlendirmesi 2 test ve 2 mutasyon modeli olmak üzere toplam 4 farklı değerlendirme yapılmış ve SMM altında İşaret Test, TPM altında İşaret ve Wilcoxon Test sonuçları istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Hem yapılan darboğaz değerlendirmelerinde ağırlıklı olarak önemlilik tespit edildiğinden hem de bu önemliliğin mevcut örneklem için en uygun darboğaz analizi olarak bildirilen TPM altında Wilcoxon Testi sonuçlarından da elde edilmesinden dolayı ($P < 0,001$) çalışma konusu olan boğaların geçmişte bir darboğaz etkisi altında kaldığı sonucuna varılmıştır. Ancak Mod-Kayması analizine göre sonuçların normal L-şekilli bir dağılım sergilenmesi bu darboğazın yakın zamanda oluşmadığı, daha eski dönemlere dayandığı sonucunu doğrulamıştır. Aktif olarak kullanılan Holstein boğaların geçmiş nesillerden sınırlı sayıda babadan köken alan damızlıklar olduğu bilgisi (Notter, 1999) de bu çıkarımı doğrular niteliktedir.

Ülkelerin koruma stratejileri çoğunlukla sayıları azalmış yerli ırklar için uygulanmaktadır. Ancak nüfusları ne kadar büyük olursa olsun demografik geçmişi ve yetiştirme stratejilerine göre popülasyonlarda genetik darboğaz yaşanması muhtemeldir. Özellikle kültür ırklarına uygulanan yoğun seleksiyon ve bu seleksiyona hizmet eden yardımcı üreme tekniklerinin yaygın kullanımı zamanla genetik çeşitliliğinin azalması ile sonuçlanabilir. Bu sebeple Holstein gibi kültür ırklarının da darboğaz etkisi altında kalıp kalmadığının değerlendirilmesi tarafımızca önerilmektedir. Çünkü popülasyonların demografik geçmişi, mevcut üretim stratejileri ve küresel ticareti damızlık boğaları darboğaz etkisi altına bırakabileceği gibi tohumlanacak inek popülasyonlarının nesillerini de etkileyebilir.

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

- Agung PP., Saputra F., Zein MSA., Wulandari AS., Putra WPB., Said S., Jakaria J. Genetic diversity of Indonesian cattle breeds based on microsatellite markers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2019; 32(4): 467–476.
- Boichard D., Ducrocq V., Fritz S. Sustainable dairy cattle selection in the genomic era. In *Journal of Animal Breeding and Genetics* 2015; 32(2): 135-143
- Cornuet JM., Luikart G. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics* 1996; 144(4): 2001–2014.
- Demir E., Balcioglu MS. Genetic diversity and population structure of four cattle breeds raised in Turkey using microsatellite markers. *Czech Journal of Animal Science* 2019; 64(10): 411–419.
- Di Rienzo A., Peterson AC., Garza JC., Valdes AM., Slatkin M., Freimer NB. Mutational processes of simple-sequence repeat loci in human populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1994; 91(8): 3166–3170.
- Ellegren H. Microsatellites: Simple sequences with complex evolution. *Nature Reviews Genetics* 2004; 5(6): 435-445.
- FAO. Global Plan Of Action For Animal Genetic Resources And The Interlaken Declaration. *World's Poultry Science Journal*. 2007
- Freebern E., Santos DJA., Fang L., Jiang J., Parker Gaddis KL., Liu GE., Vanraden PM., Maltecca C., Cole JB., Ma L. GWAS and fine-mapping of livability and six disease traits in Holstein cattle. *BMC Genomics* 2020; 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6461-z>
- Garkovenko AV., Radchenko VV., Initskaya EV., Koshchaev AG., Shchukina IV., Bakharev AA.,

- Sukhanova SF. Polymorphism of cattle microsatellite complexes. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* 2018; 10(6): 1545-1551
- Groeneveld LF., Lenstra JA., Eding H., Toro MA., Scherf B., Pilling D., Negrini R., Finlay EK., Jianlin H., Groeneveld E., Weigend S. Genetic diversity in farm animals - A review. In *Animal Genetics* 2010; 41(1): 6-31
- Ilie DE., Cean A., Csiszter LT., Gavojdian D., Ivan A., Kusza S. Microsatellite and mitochondrial DNA study of native eastern European cattle populations: The case of the Romanian grey. *PLoS ONE* 2015; 10(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138736>
- Kramarenko AS., Gladyr EA., Kramarenko SS., Pidpala TV, Strikha LA., Zinovieva N. A. cattle based on microsatellite markers. 2018; 8(2): 12-17.
- Li H., Roossinck MJ. Genetic bottlenecks reduce population variation in an experimental RNA virus population. *Journal of Virology* 2004; 78(19): 10582-10587
- Luikart G., Allendorf FW., Cornuet JM., Sherwin WB. Distortion of allele frequency distributions provides a test for recent population bottlenecks. *Journal of Heredity* 1998; 89(3): 238–247.
- Luikart G., Cornuet JM. Empirical evaluation of a test for identifying recently bottlenecked populations from allele frequency data. *Conservation Biology* 1998; 12(1): 228–237.
- Lynch M., Ackerman MS., Gout J., Long H., Sung W., Thomas WK., Foster PL. Genetic drift, selection and the evolution of the mutation rate. *Nature Publishing Group* 2016; 17(11): 704–714.
- Mucha S., Mrode R., Coffey M., Kizilaslan M., Desire S., Conington J. Genome-wide association study of conformation and milk yield in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science* 2018; 101(3): 2213-2225
- Nel M., Chakraborty R., Fuerst P. A. Infinite allele model with varying mutation rate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1976; 73(11): 4164-4168.
- Notter DR. The importance of genetic diversity in livestock populations of the future. *Journal of Animal Science* 1999; 77(1): 61–69.
- Ohta T., Kimura M. A model of mutation appropriate to estimate the number of electrophoretically detectable alleles in a finite population. *Genetical Research* 1973; 22(2): 201–204.
- Philipsson J. Standards and procedures for international genetic evaluations of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 1987; 70(2): 418–424.
- Piry S., Luikart G., Cornuet JM. Bottleneck: A computer program for detecting recent reductions in the effective population size using allele frequency data. *Journal of Heredity* 1999; 90(4): 502–503.
- R Development Core Team. R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. In R Foundation for Statistical Computing, 2019; 2.
- Rahal O., Aissaoui C., Ata N., Yilmaz O., Cemal I., Ameer Ameer A., Gaouar SBS. Genetic

- characterization of four Algerian cattle breeds using microsatellite markers. *Animal Biotechnology* 2021; 32(6): 699-707.
- Sainudiin R., Durrett RT., Aquadro CF., Nielsen R. Microsatellite mutation models: Insights from a comparison of humans and chimpanzees. *Genetics* 2004; 168(1): 383–395.
- Shelyov A., Kopylov K., Vdovychenko Y., Kramarenko S., Kramarenko O. Formation of the genetic structure of cattle populations by single locus DNA fragments depending on their productivity direction and origin. *Agricultural Science and Practice* 2021; 8(3): 35–49. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.03.035>
- Storz JF., Beaumont MA. Testing for genetic evidence of Population expansion and contraction: An empirical analysis of microsatellite DNA variation using a hierarchical Bayesian model. *Evolution* 2002; 56(1): 154–166.
- Tamminen S. Changing values of farm animal genomic resources. From historical breeds to the Nagoya Protocol. *Frontiers in Genetics* 2015; 6(SEP). <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00279>
- Yilmaz O., Kizilaslan M., Arzik Y., Behrem S., Ata N., Karaca O., Elmaci C., Cemal I. Genome-wide association studies of preweaning growth and in vivo carcass composition traits in Esme sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 2022; 139(1): 26-39
- Zepeda-Batista JL., Núñez-Domínguez R., Ramírez-Valverde R., Jahuey-Martínez FJ., Herrera-Ojeda JB., Parra-Bracamonte GM. Discovering of genomic variations associated to growth traits by gwas in braunvieh cattle. *Genes* 2021; 12(11): 1666.

Magnezyum Bazlı Mg₃Bi Biyo-Emilebilir Alaşımların Elastik Özelliklerinin Ab İnitio Çalışması

Nihat ARIKAN¹, Tahsin ÖZER^{2*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 80000, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Bahçe Meslek Yüksekokulu, 80500, Bahçe, Osmaniye

¹ <https://orcid.org/0000-0001-8028-3132>

² <https://orcid.org/0000-0003-0344-7118>

*Sorumlu yazar: tahsinozer@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 28.04.2022

Kabul tarihi: 18.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Ab initio

DFT

Elastik sabitler

Anizotropi

Elektronik bant yapısı

Debye sıcaklığı

ÖZ

Metallerin üstün mukavemet ve yüksek kırılma tokluklarına sahip olmaları nedeni ile biyomalzeme olarak kullanılabilirlikleri yaygın olarak araştırılmaktadır. Ortam şartlarında Mg₃Bi bileşiğinin, yapısal ve elastik özellikleri ile anizotropisi ilk-prensipier yöntemi ile araştırıldı. Araştırma sonucunda elde edilen bulguların ulaşılabilen literatür verileri ile uyumlu olduğu görüldü. Hesaplanan elastik sabitler mekanik kararlılık kriterlerini sağladığından, çalışılan bileşiğin mekanik olarak kararlı olduğu söylenebilir. Malzeme mekanik olarak kararlı olduğu için elastik modül, Vicker sertliği, Debye sıcaklığı, erime sıcaklığı, minimum termal iletkenlik değerleri tahmin edildi. Hesaplanan Vicker sertliğinin 1 GPa civarında olmasından dolayı, Mg₃Bi bileşiği yumuşak malzeme sınıfında kategorize edilebilir. Mühendislik ve malzeme bilimi açısından önem arz eden anizotropi, detaylı olarak araştırıldı.

Elastic Properties of Magnesium Based Mg₃Bi Bioresorbable Alloys: Ab Initio Study

Research Article

Article History:

Received: 28.04.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Ab initio

DFT

Elastic constants

Anisotropy

Elastic constants

Debye temperature

ABSTRACT

Because of their superior strength and great fracture toughness, metals are now the subject of much research about their potential use in the field of biomaterials. Structural and elastic properties and anisotropy of Mg₃Bi compound under ambient conditions were investigated by the first-principles method. It was seen that the findings obtained as a result of the research were compatible with the available literature data. Since the calculated elastic constants meet the mechanical stability criteria, it can be said that the studied compound is mechanically stable. Since the material is mechanically stable, elastic modulus, Vicker hardness, Debye temperature, melting temperature, and minimum thermal conductivity values were estimated. Due to the calculated Vicker hardness of around 1 GPa, the Mg₃Bi compound can be categorized in the soft material class. Anisotropy, which is important in terms of engineering and materials science, has been investigated in detail.

To Cite: Arıkan N., Özer T. Magnezyum Bazlı Mg₃Bi Biyo-Emilebilir Alaşımların Elastik Özelliklerinin Ab İnitio Çalışması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1656-1671.

1.Giriş

Metaller, yüksek mekanik mukavemetleri ve kırılma toklukları nedeniyle seramik veya polimerik malzemelere göre yük taşıma uygulamaları için daha uygundur (Niinomi, 2002; Staiger ve ark., 2006). Şu anda onaylanmış ve yaygın olarak kullanılan metalik biyomalzemeler arasında paslanmaz çelikler, titanyum ve kobalt-krom bazlı alaşımlar yer almaktadır (Fehling ve ark., 1995; Cassell ve ark., 1996; Li ve ark., 2014; Velikokhatnyi ve Kumta, 2018). Bu mevcut metalik biyomalzemeler, toksik metalik iyonları ve partiküllerin korozyon veya aşınma süreçleri nedeniyle bazı sınırlamalara sahiptir. Ek olarak, mevcut metalik biyomalzemelerin elastik modülleri, doğal kemik modülü ile iyi uyuşmamaktadır. Yani kemik büyümesinin uyarılmasına ve implant kararlılığını azaltan yeniden şekillenmeye yol açabilen stresten koruyucu etkilere neden olur (Nagels ve ark., 2003). Titanyum ve titanyum alaşımları, mukavemetleri, uzun yorulma ömürleri, iyi işlenebilirlikleri ve korozyona karşı yüksek dirençlerinden dolayı yapay kalça eklemleri veya diş kökleri gibi biyomedikal uygulamalar için ilk tercihlerdendir (Niinomi, 2002, 2008; Geetha ve ark., 2009; Gutiérrez Moreno ve ark., 2018). Ne yazık ki, Ti-bazlı implantlar ($E_{Ti} = 110$ GPa), kortikal kemiğe ($E < 30$ GPa) kıyasla yüksek elastik modüllerinden kaynaklanan “stres kalkan etkisi” olarak adlandırılan çeşitli nedenlerle uzun süreli kullanımdan sonra biyouyumluluk eksikliğinden dolayı başarısız olma eğilimindedir (Niinomi, 1998; Sumner ve ark., 1998; Ozaki ve ark., 2004). Böylece, görece düşük sertlikte ve toksin olmayan bazı alaşımların geliştirilmesi son yıllarda faal bir çalışma alanı olmuştur. Magnezyum, $1,74 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahip son derece hafif bir metal olup, sırasıyla alüminyum ve çelikten 1,6 ve 4,5 kat daha az yoğundur (Degarmo, 1979; Niinomi, 2002). Magnezyum, son zamanlarda mükemmel özelliklerinden dolayı kemik ikame malzemeleri için umut verici bir biyomateryal olarak kabul edilmiştir, Magnezyumun mükemmel özellikleri arasında, nispeten düşük Young modülü ve uygun mukavemet (Avedesian ve ark., 1999), mükemmel biyouyumluluk (Sumner ve ark., 1998; Kuwahara ve ark., 2001), biyolojik olarak parçalanabilirlik ve biyolojik olarak emilebilirlik (Franchi ve ark., 1991; Wiesmann ve ark., 1997) söylenebilir. Mg-bazlı metalik malzemeler, hastalıklı veya hasarlı kemik dokusunun onarımına veya değiştirilmesine yardımcı olan biyomalzemeler olarak önemli bir rol oynamaya devam etmektedir (Paufler, 1990; Saris ve ark., 2000; Okuma, 2001; Vormann, 2003; Wolf, 2003; Niinomi,2008). Magnezyumun kırılma tokluğu, hidroksiapatit gibi diğer seramik biyomalzemelerle karşılaştırıldığında daha fazladır ve elastik modülü ve basınç akma dayanımı (compressive yield strength), yaygın olarak kullanılan diğer metalik implantlardan kemiğe daha yakındır (Hartwig, 2001). Ayrıca magnezyum kemik dokusunda doğal olarak bulunur ve insan metabolizması için gereklidir. Magnezyumun birçok mühendislik uygulamasındaki en büyük dezavantajı, özellikle elektrolitik ve sulu ortamlarda düşük korozyon direnci gibi özelliğidir. Magnezyum bazlı implantın in vivo korozyonunun, idrarla zararsız bir şekilde atılması, toksik olmayan bir oksit oluşumunu içermesi ve biyomateryal uygulamaları için ilgi çekici bir özellik haline gelir. Üstelik fonksiyonel rolleri ve kemik dokusundaki varlığı nedeniyle, magnezyum yeni kemik dokusunun büyümesi üzerinde uyarıcı etkilere sahip olabilir (Kuwahara ve ark., 2001; Yamasaki ve

ark., 2002, 2003). Böylelikle, magnezyum ve alaşımlarının hafif, parçalanabilir, yük taşıyan ortopedik implantlar olarak uygulanması öngörülmüştür. Kemik dokusu iyileşme esnasında doğal doku ile değiştirilirken, 12-18 haftalık bir zaman ölçeğinde vücutta mevcut kalacak ve mekanik bütünlüğü koruyacaktır (Wen ve ark., 2001; Witte ve ark., 2005). Li ve ark., (2014) kemik kırığı fiksasyonu için tek yönlü yüksek mukavemetli magnezyum alaşım (Mg-alaşım) tellerle güçlendirilmiş yeni bir polilaktik asit (PLA) bazlı biyokompoziti üretmişlerdir. Bu materyal için yapılan darbe deneyleri sonucuna göre, darbe işlemi sırasında Mg-alaşım tellerin plastik deformasyon davranışından dolayı biyokompozitin olumlu darbe özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Mg alaşım tellerin içeriği hacimce %20'ye ulaşırken, kompozitin darbe dayanımı $93,4 \text{ kJ/m}^2$ 'ye ulaşabilir, bu da aynı işlemle üretilen saf PLA'ninkinden yaklaşık 16 kat daha büyüktür.

Mg_3Bi bileşiği ile daha önce yapılmış herhangi bir deneysel veya teorik çalışmaya rastlanılmamış, ancak "The open Quantum Materials Database" ve "materialsproject" sitelerinde bu bileşiğin Pm-3m, I4/mmm, P63/mmc, P21/m, Pmmn, Pmm2, Imm2, Fm-3m uzay grubunda kristalleşen fazlarının olduğu bildirilmiştir. Pm-3m fazında Mg_3Bi bileşiği kübik kristal sistemde kristalleşmekte olup birim hücrede dört atom bulunmaktadır. Bu çalışmada, Şekil 1'de birim hücrenin görseli verilen Mg_3Bi bileşiğinin Pm-3m(221) uzay grubunda ve $L1_2$ fazındaki kararlılığını ve mekanik özelliklerini ikinci dereceden elastik tensör analizi vasıtasıyla tartışıyoruz. Bu çalışma öncelikle, hacim (bulk) modülü (B), kesme (shear) modülü (G), Young modülü (E) ve Poisson oranı (σ) gibi Mg_3Bi alaşımının genel elastik özelliklerini araştırmanın yanında Debye sıcaklığı, erime sıcaklığı gibi termodinamik ve elektronik özelliklerini araştırmak için yürütülmüştür, sonuçlar potansiyel olarak uygun aday biyoyumluluk malzemesini belirlemeye hizmet etmektedir. $L1_2$ fazına atıfta bulunan ve kristalin anizotropisi dikkate alınarak, ortopedik implantlar olarak kullanımları için uygun, istenen özelliklere sahip alaşımları rasyonel olarak tasarlamak için bir kılavuz olarak kullanılabilir.

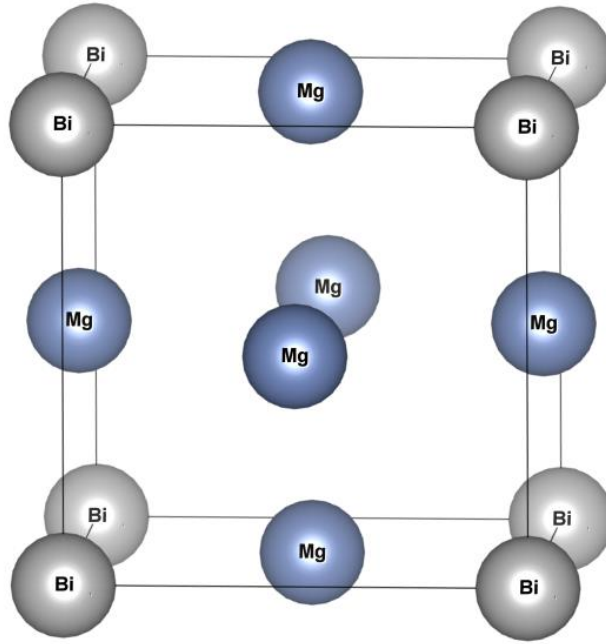
2. Materyal ve Metot

Tüm hesaplamalar, Quantum-Espresso paketinde çalıştırılan ab initio düzlem dalga psödopotansiyel yöntemi ile yapıldı (Giannozzi ve ark., 2009). Değiş-tokuş korelasyon fonksiyonu, Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) (Perdew ve ark., 1996) tarafından parametrelendirilen genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) kullanılarak hesaplandı. Psödopotansiyeller üretilirken; Mg elementi $3s^2$, Bi elementi için $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$ elektronları valans elektron olarak hesaplamalara dahil edildi. Dalga fonksiyonları, Mg_3Bi alaşımı için 40 Ry kinetik enerji kesimi ile düzlem dalgalarda genişletildi. Elektronik yük yoğunluğu, kinetik enerji Cut-off'un 400 Ry'ye kadar değeri dikkate alınmıştır. Kesin sonuçlar elde etmek için, mixing betası 0,7 olan yakınsama eşiği (convergence threshold) 10^{-9} Ry olarak tercih edilmiştir. Brillouin bölgesinin (IBZ) örneklenmesi için $10 \times 10 \times 10$ Monkhorst – Pack (Monkhorst ve Pack, 1976) k-noktası mesh kullanılarak atom başına 1 mRy'lik enerji yakınsaması sağlanmıştır. Smearing parametresi $\sigma = 0,02$ Ry olan smearing tekniği (Methfessel ve Paxton, 1989) kullanılarak, Fermi yüzeyine kadar olan entegrasyon gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yarı-harmonik

yaklaşımı (QHA) ile Gibbs2 kodunu kullanarak sabit hacim altında termodinamik özellikleri hesaplandı. Elastik özellikler (G ve E), termos-pw kodunda uygulanan enerji- strain yöntemi kullanılarak Voigt ve Reuss değerlerinin geometrik ortalaması olan Hill değerinden elde edilmiştir (Çanlı ve ark., 2021). Diğer ilgili elastik modüller, kübik sistem için üç elastik sabit (C_{ij}) kullanılarak da elde edilebilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bir önceki bölümde verilen optimize parametreler, Quantum Espresso yazılımında BFGS algoritması kullanılarak bileşiğin yapısal optimizasyonu tamamlandı. Yapısal optimizasyonu tamamlanan bileşiğin kristal yapısı görselleştirilerek Şekil 1’de verilmiştir. Yapısal optimizasyon sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. L1₂ fazdaki Mg₃Bi bileşiğinin kristal yapısı.

Tablo 1. Mg₃Bi bileşiği için elde edilen örgü sabiti (a_0 , Å), hacim (B, GPa), shear (G, GPa) ve Young (E, GPa) modülleri, elastik sabitler (C_{ij} , GPa).

Materyal	Referans	a_0	B	G	E	C_{11}	C_{12}	C_{44}	σ
Mg ₃ Bi	Bu çalışma	4,594	40,17	14,26	38,25	54,24	33,13	17,44	0,34
	VASP (Jain ve ark., 2013)*	4,629							
	Teori (Saal ve ark., 2013)**	4,598							

*Materials Project’ten alınmıştır. ** The Open Quantum Material Database’den alınmıştır.

Malzemenin birçok fiziksel özellikleri hakkında bilgi veren elastik sabitler, kübik yapıda C_{11} (54,24 GPa), C_{12} (33,13 GPa) ve C_{44} (17,44 GPa) olmak üzere üç tane değer ile belirtilmektedir. Bu değerler Born kararlılık kriterleri (Beckstein ve ark., 2001) olarak bilinen şartları sağladığında malzemenin mekanik olarak kararlı olduğu söylenebilir. Mekanik olarak kararlı olan Mg_3Bi bileşiğinin Hill yaklaşımında (Hill, 1952) ve literatürde verilen eşitlikler (Özer ve Çabuk, 2019) kullanılarak hacim modülü (10,17 GPa), shear (kesme) modülü (14,26 GPa), Young modülü (38,25 GPa) ve poisson oranı (0,34) hesaplanmıştır. Bazı kaynaklarda elastik modül, Young modülü olarak da geçmektedir. Hacim ve kesme modülü gibi malzemenin mekanik özelliklerinden biridir. Yeni nesil titan alaşımların elastik modülü 74-85 GPa, kemik 10-30 GPa (Long ve Rack, 1998) olduğu düşünülürse 38,25 GPa elastik modül ile Mg_3Bi bileşiği kemiğin elastik modül değerine yakındır. Ayrıca kemikte kütlece yüzde (%w) 0,6-0,7 magnezyum elementinin bulunduğu (Šupová, 2015) dikkate alınarak Mg_3Bi bileşiğinin aday implant malzemesi olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Çalışılan malzemenin sünek (Ductile) mi yoksa kırılğan (Brittle) yapıda mı olduğu G/B oranı, Poisson oranı ve Cauchy basıncına bakılarak teorik olarak tahmin edilebilmektedir. Cauchy basıncı,

$$C_p = C_{12} - C_{44} \quad (1)$$

G/B oranı için kritik değer 0,5'tir. G/B oranının 0,5'ten küçük olması halinde malzemenin sünek özellik göstermesi beklenir. Poisson oranı için kritik değer 0,26'dır. 0,26 küçük değer kırılğan yapıya işaret eder (Özer, 2021). Sünek özellik göstermesi beklenen malzemenin Cauchy basıncının ise pozitif olması gerekir (Çanlı ve ark., 2021). Mg_3Bi bileşiğinin hesaplanan G/B oranı 0,35, Poisson oranı 0,34 ve Cauchy basıncı (15,69 GPa) olarak hesaplandığından Mg_3Bi bileşiği sünek özellik gösterecektir. Ayrıca Poisson oranı malzemede etkili olan bağ kuvvetleri hakkında da bilgi vermektedir. Merkezi kuvvetler için limit değeri 0,25 – 0,50'dir. Hesaplanan Poisson oranına göre Mg_3Bi bileşiğinde merkezi kuvvetlerin etkin olduğu yargısına ulaşılmıştır.

Hacim, shear ve Young modüllerinin değerlerine bakılarak malzemenin sertliği hakkında bir yargıya ulaşılabilsede yeterli olmadığından daha detaylı analizler için literatürde Vicker sertliğini tanımlayan Yousef (Yousef ve ark., 2006)

$$H_v = \frac{(1 - 2\nu)E}{6(1 + \nu)} \quad (2)$$

Tian (Tian ve ark., 2012)

$$H_v = 0,92 k^{1,137} G^{0,708} \quad (3)$$

gibi modeller mevcuttur.

Bu modellere göre Mg₃Bi bileşiğinin Vicker sertliği, 0,509 GPa (Yousef ve ark., 2006) ve 1,860 GPa (Tian ve ark., 2012) olarak hesaplanmıştır. Malzemelerin Vicker sertlik değerine göre yumuşak, sert ve süper sert malzeme olarak sınıflandırılması da yapılmıştır. Eğer bir malzemenin Vicker sertliği 10 GPa'dan küçük ise yumuşak (Liu ve ark., 2020), 40 GPa'dan büyük ise süper sert malzeme (Haines ve ark., 2001) sınıfında olduğu kabul edilmektedir. Yapılan bu sınıflandırmaya göre Mg₃Bi bileşiğinin hesaplanan Vicker sertliği yaklaşık 1 GPa olduğundan yumuşak malzeme sınıfına girmektedir. Yumuşak malzeme sınıfında olduğundan çalışılan bileşiğin sertlik gerektiren uygulamalarda kullanılması pek de uygun görülmemektedir.

Elastik sabitler ile erime sıcaklığı arasındaki ilişkiden malzemenin erime sıcaklığı tahmin edilebilir. Literatürde erime sıcaklığını tayin eden, Fine (Fine ve ark., 1984) (Eşitlik 4 - 5) ve Özer (Özer, 2018) (Eşitlik 6) modelleri gibi bir takım modeller mevcuttur. Bu modellere göre erime sıcaklığı,

$$T_m = 553 + 5,91 C_{11} \quad (4)$$

$$T_m = 607 + 9,3 B \quad (5)$$

$$T_m = 560,4 + 7,805 C_{11} - 3,094 C_{12} - 1,086 C_{44} \quad (6)$$

Mg₃Bi bileşiğinin erime sıcaklığı 873,56 K (Eşitlik 4), 980,55 K (Eşitlik 5) ve 862,3 K (Eşitlik 6) olarak hesaplanmıştır. Erime sıcaklığını kıyaslayacak herhangi bir literatür verisine ulaşamadığından okuyucuya fikir vermesi açısından Mg₃Bi₂ fazın erime sıcaklığı 821 °C olarak bildirilmiştir (Sasaki ve ark., 2009).

Katılar için karakteristik özelliğe haiz olan Debye sıcaklığı, minimum termal iletkenlik elastik sabitlerden ve ortalama ses hızından hesaplanabilmektedir. Söz konusu eşitlikler literatürde mevcuttur (Cahill ve ark., 1992; Clarke, 2003; J. Long ve ark., 2015). Mg₃Bi bileşiğinin Debye sıcaklığı 199 K, minimum termal iletkenliği 0,404 (Clarke, 2003), 0,461 (Cahill ve ark., 1992) ve 0,318 Wm⁻¹K⁻¹ (Long ve ark., 2015) olarak hesaplanmıştır. Minimum termal iletkenlik değerinin küçük olmasından dolayı termal yalıtkanlık gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği beklenilmektedir. Bu çalışmada Mg₃Bi bileşiğinin yoğunluğu 4,828 g/cm³ olarak tahmin edilmiştir. Materialsproject'te Mg₃Bi bileşiğinin yoğunluğu 4,72 g/cm³ olarak verilmiştir. Bu hali ile yapılan hesaplama literatür verisi ile tutarlıdır.

Maddelerin fiziksel ya da mekanik özelliklerinin, yöne bağlı olarak değişmesi anizotropi olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin anizotropi özelliğinin bilinmesi malzeme mühendisliği uygulamalarında mikro çatlakları yönetmek için önem arz ettiğinden Mg₃Bi bileşiğinin anizotropisi de analiz edilmiştir. Bir malzemenin anizotropisi farklı şekillerde ifade edilebilmektedir. Herhangi bir kristal yapıya uygulanabilen evrensel anizotropi faktörü (Ranganathan ve Ostoja-Starzewski, 2008)

$$A^U = 5 \frac{G_V}{G_R} + \frac{B_V}{B_R} \geq 0 \quad (7)$$

Chung-Buessem anizotropi faktörü (Buessem ve Chung, 1968)

$$A_G = \frac{G_V - G_R}{G_V + G_R} \times 100 \quad (8)$$

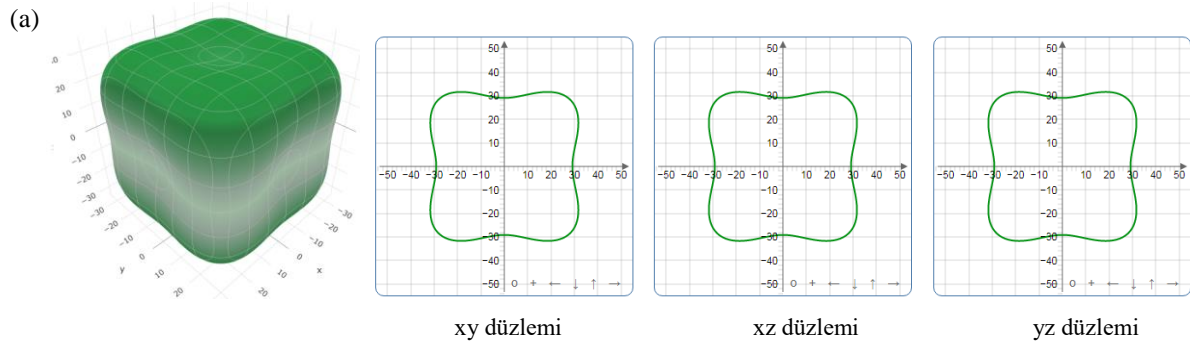
Zener anizotropi faktörü (Nye, 1985)

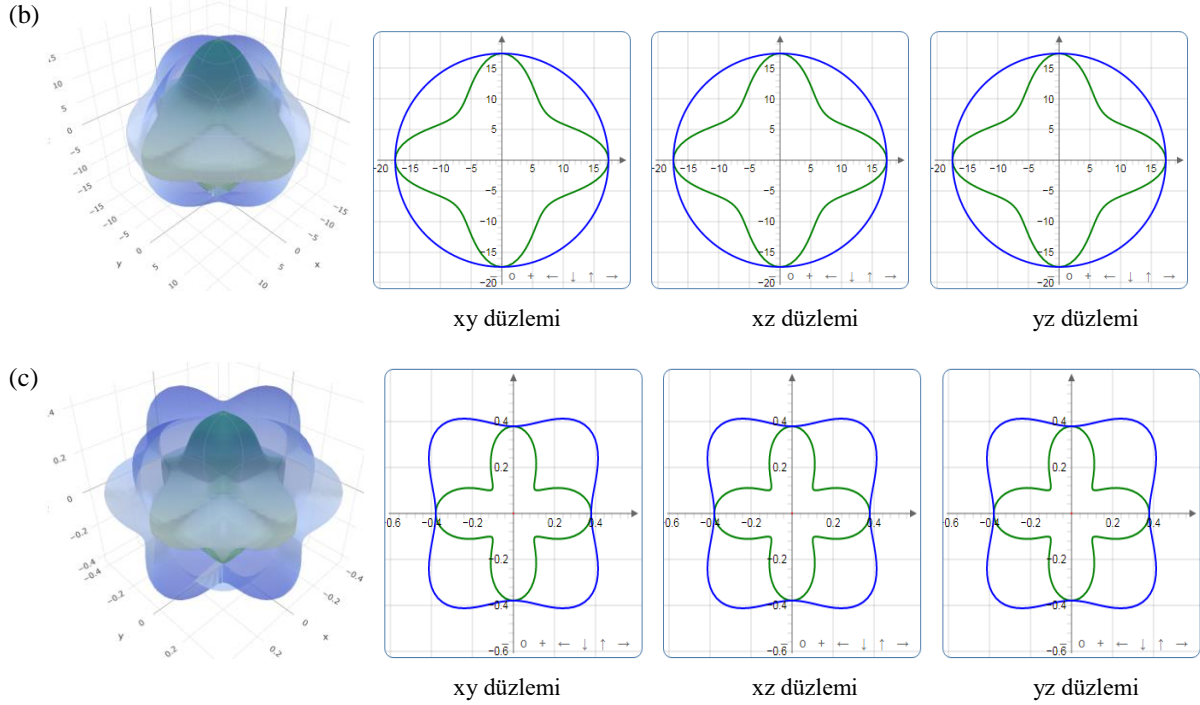
$$A_Z = \frac{2G_{44}}{C_{11} - C_{12}} \quad (9)$$

Elastik anizotropi faktörü (Every, 1980)

$$A^E = \frac{C_{11} - C_{12} - 2C_{44}}{C_{11} - C_{44}} \quad (10)$$

İzotropik malzemelerde A_Z değeri “bir” olur, A^U , A_G ve A^E değerleri “sıfır” olur. Anizotropikliği gösteren Eşitlik 7-10’da sonuçların bir ve sıfırdan farklı çıkması anizotropikliği göstermektedir. Sıfır ve birden sapma miktarı ise anizotropikliğin derecesini göstermektedir. Yapılan hesaplamalarda evrensel anizotropi 0,309, Chung-Buessem anizotropi 2,998, Zener anizotropi 1,652 ve elastik anizotropi faktörü 0,374 olarak bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlara göre Mg_3Bi bileşiğinin anizotropik davranış sergiler. Okuyucunun Mg_3Bi bileşiğinin Young ve kesme modülleri ile Poisson oranının anizotropisini daha rahat görmesi bakımından ELATE (Gaillac ve ark., 2016) yazılımı ile görselleştirilerek Şekil 2’de verilmiştir.

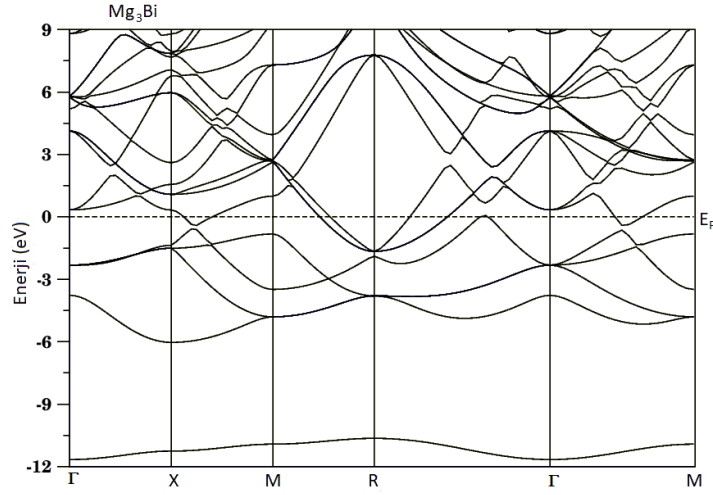




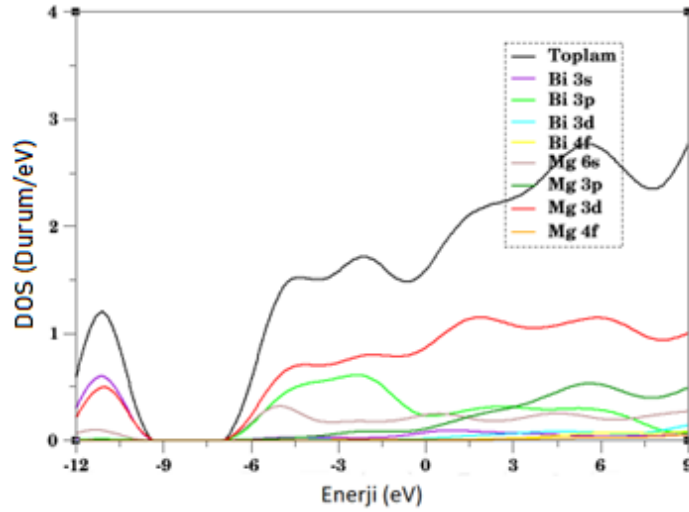
Şekil 2. Mg_3Bi bileşiğinin anizotropisinin 3D ve 2D şekilleri. Şekilde minimum değerler yeşil, maksimum değerler mavi renk ile gösterilmiştir. Görsellerde izotropi, çember ya da küre ile temsil edilirken küreden/çemberden sapmalar anizotropikliğin göstergesidir. (a) Young modülü, (b) Kesme modülü, (c) Poisson'un oranı.

Eşitlik 7-10'dan elde edilen sonuçlar ve Şekil 2'den görüleceği üzere Mg_3Bi bileşiğinin anizotropik davranış sergilemektedir.

Bir kristalin yapısal bozulmaları ve elektronik iletkenliği gibi birtakım özelliklerinin belirlenmesinde kristalin enerji bant yapısının bilinmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle Mg_3Bi bileşiğinin Brillouin bölgesindeki yüksek simetri yönlerinde elektronik bant yapıları ve enerji bantlarına orbitallerin katkılarını görmek için toplam ve parçalı durum yoğunlukları Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde Fermi enerji (E_F) seviyesi kesikli yatay çizgi ile gösterilmiştir. Şekillerden de rahatlıkla görüleceği gibi -12 ile -10 eV arasındaki enerji bandına büyük oranda Bi-3s ve Mg-3d orbitallerinden olmak üzere görece olarak az miktarda Mg-6s orbitallerinden katkı gelmektedir. Şekil 3'de verilen Mg_3Bi bileşiğinin elektronik bant yapısı incelendiğinde -10 ile -6 eV aralığında bir enerji bandının oluştuğu görülmektedir. Ancak Fermi enerji seviyesinde bir bant oluşumu söz konusu olmamış valans bandı ile iletim bandı çakışmıştır. Bu çakışmadan dolayı yalıtkanlık veya yarı iletkenlik söz konusu değildir. Fermi enerji seviyesinde valans bandı ile iletim bandının çakışık olması ve elektron yoğunluğunun bulunmasından dolayı Mg_3Bi bileşiğinin metalik karakter gösterecektir. Fermi enerji seviyesi civarında iletkenliğe en büyük katkı Mg-3d orbitallerinden geldiği durum yoğunluğu eğrilerinden rahatlıkla görülmektedir. Valans ve iletim bandına en büyük katkı Mg-3d sonrasında Bi-3p orbitallerinden gelmektedir.



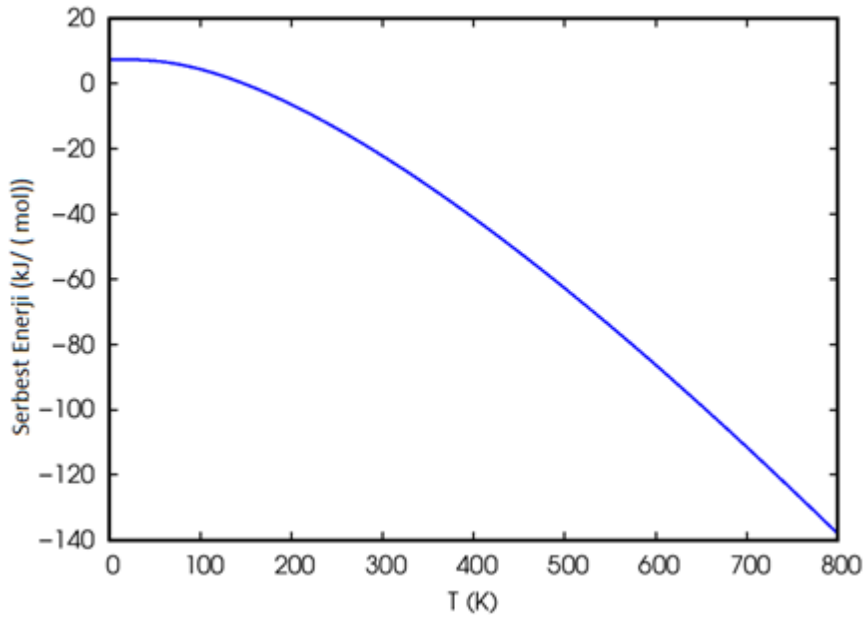
Şekil 3. L_{12} fazdaki Mg_3Bi alaşımının elektronik bant yapısı (E_F Fermi enerji seviyesi).



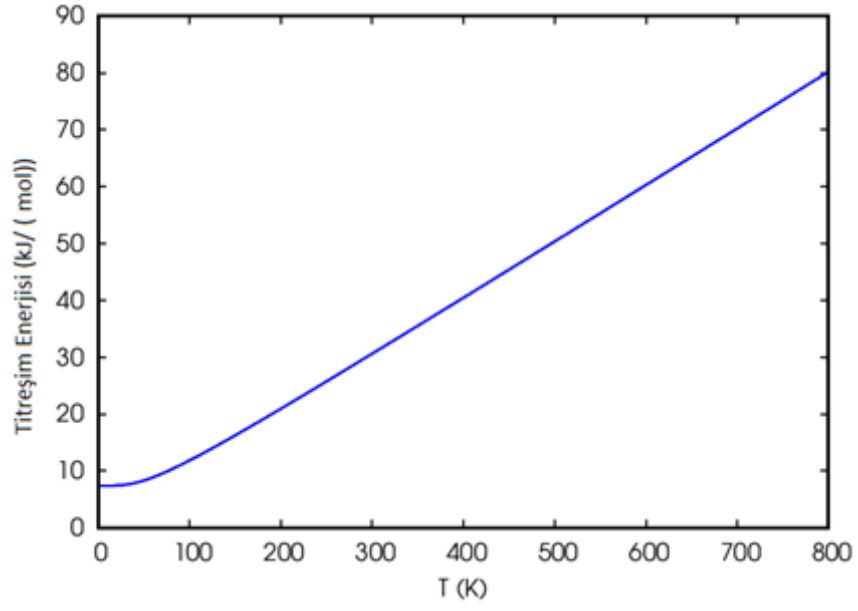
Şekil 4. L_{12} fazdaki Mg_3Bi alaşımının toplam ve parçalı durum yoğunluğu (sıfır noktası Fermi enerji seviyesi olarak seçilmiştir).

L_{12} fazında Mg_3Bi alaşımının termodinamik özellik hesaplamaları için Quantum-Espresso programına entegre olan thermo_pw programı tercih edilmiştir. Optimize edilmiş atomik yapıya stress uygulanarak kuasi-harmonik Debye modeli ile 0-800 K aralığında termodinamik özellikler (serbest enerji, titreşim enerjisi, entropi ve ısı sığası) hesaplandı. Hesaplanan serbest enerji, titreşim enerjisi, entropi ve ısı sığasının değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi, Şekil 5-8 de sunulmuştur. Şekil 5'te görülen serbest enerjinin sıcaklığa bağlı değişimine bakıldığında, artan sıcaklık ile ters orantılı bir azalmanın olduğu görülebilir. Şekil 6'da ise titreşim enerjisinin sıcaklıkla değişim eğrileri görülmektedir. Artan sıcaklıkla beraber titreşim enerjisinde de bir artış gözlenmektedir. Böylece, sıcaklığın artmasıyla birlikte artan titreşim enerjisi, serbest enerjisinin azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 7'de verilen entropi-sıcaklık değişim eğrisi incelendiğinde artan sıcaklıkla entropide bir artış söz

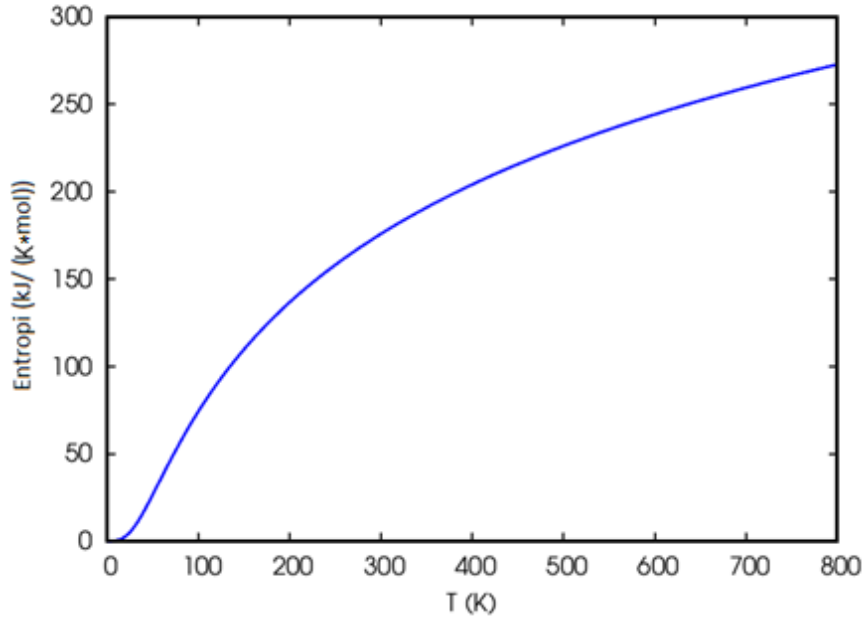
konusudur. Bu artış beklenen bir neticedir. Sıcaklık-ısı sığası değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Sıcaklık-ısı sığası değişim eğrisinden görüleceği üzere, sıcaklık arttıkça ısı sığasındaki artış ve yüksek sıcaklıklara doğru kaydığında da Dulong-Petit limiti (Petit ve Dulong, 1819) olarak adlandırılan $3NR$ (N birim hücredeki atom sayıları, R gaz sabiti) değerine yaklaştığı görülmektedir. Buna ek olarak, ısı sığasının doyum noktasına ulaşmaya başladığı yer olan ve bir materyal için en yüksek frekans modunun uyarıldığı sıcaklık değeri olarak adlandırılan, Debye sıcaklığı da bu alaşım için 197,812 K hesaplanmış, Mg_3Bi_2 bileşiği için 177 K değeri rapor edilmiştir (Agne ve ark., 2018). Hesaplanan bu değer elastik sabitler ve ortalama ses hızından hesaplanan Debye sıcaklığı ve literatür verisi ile tutarlıdır. Bu tutarlılık hesaplamaların güvenilirliğine işaret etmektedir.



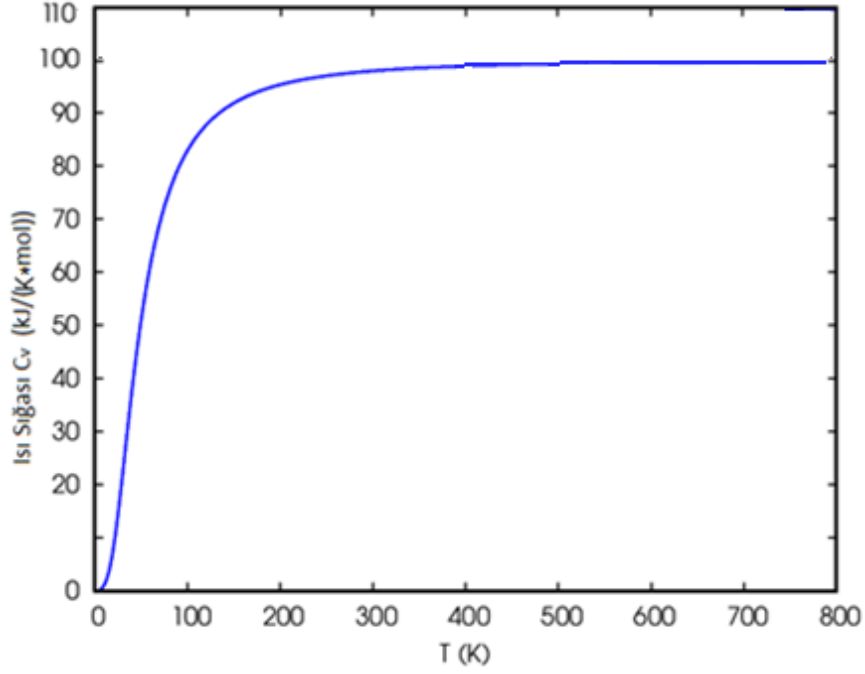
Şekil 5. L_{12} fazdaki Mg_3Bi alaşımının titreşim serbest enerjisinin sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 6. L_{12} yapıdaki Mg_3Bi alaşımının titreşim enerjisinin sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 7. L_{12} yapıdaki Mg_3Bi alaşımının entropi sıcaklık değişimi



Şekil 8. L₁₂ yapıdaki Mg₃Bi alaşımının ısı sığası (C_v) sıcaklık değişim eğrisi

4.Sonuçlar

Mg₃Bi bileşiğinin ortam şartlarındaki yapısal optimizasyonundan elde edilen parametreler kullanılarak elastik sabitleri elde edildi. Elde edilen bu sabitler mekanik kararlılık kriterlerini sağladığından elastik modülü, anizotropisi, termodinamik özellikleri ve elektronik yapısı araştırıldı. Yapılan araştırma sonucunda mekanik olarak kararlı, anizotropik ve yumuşak bir malzeme olduğu görüldü. G/B oranı, Poisson oranı ve Cauchy basıncı değerlerine göre Mg₃Bi bileşiğinin sünek özellik göstereceği söylenebilir. Malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen hacim modülü (10,17 GPa), shear (kesme) modülü (14,26 GPa), Young (elastik) modülü (38,25 GPa) olarak hesaplanmıştır. Elastik modül değeri yeni nesil titan alaşımlarda 74-85 GPa, kemikte 10- 30 GPa (M. Long ve Rack, 1998), magnezyumun kanserojen olmayan bir element olduğu ve kemikte ağırlıkça yüzde 0,6-0,7 oranında bulunduğu düşünülürse Mg₃Bi bileşiği aday implant malzemesi olabilir. Yine elastik sabitlerden karakteristik Debye sıcaklığı ve minimum termal iletkenlik kat sayısı hesaplandı. Elektronik yapı incelemesinde, valans bandı ile iletim bandının çakışık olması ve Fermi enerji seviyesinde elektron yoğunluğunun bulunmasından dolayı metalik karakterdedir. L₁₂ fazında Mg₃Bi alaşımının termodinamik özellik hesaplamaları QE yazılımına entegre olan thermo_pw programında optimize edilmiş yapıya stres uygulayarak kuasi-harmonik Debye modeli ile serbest enerji, titreşim enerjisi, entropi ve ısı sığasının değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi 0 ile 800 K aralığında belirlendi.

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

- Agne MT., Imasato K., Anand S., Lee K., Bux SK., Zevalkink A., Rettie AJE., Chung DY., Kanatzidis MG., Snyder GJ. Heat capacity of Mg_3Sb_2 , Mg_3Bi_2 and their alloys at high temperature. *Materials Today Physics* 2018; 6: 83-88.
- Avedesian MM., Baker H. Magnesium and magnesium alloys. *ASM International Handbook Committee* 1999; 314.
- Beckstein O., Klepeis JE., Hart GLW., Pankratov O. First-principles elastic constants and electronic structure of α -Pt₂Si and PtSi. *Physical Review B* 2001; 63(13): 134112.
- Buessem DH., Chung WR. Anisotropy in single-crystal refractory compounds (F. W. Vahldiek & S. A. Mersol (ed.); 1st editio). Springer US. (1968).
- Cahill DG., Watson SK., Pohl RO. Lower limit to the thermal conductivity of disordered crystals. *Physical Review B* 1992; 46(10): 6131.
- Çanlı M., İlhan E., Arıkan N. First-principles calculations to investigate the structural, electronic, elastic, vibrational and thermodynamic properties of the full-Heusler alloys X_2ScGa ($X = Ir$ and Rh). *Materials Today Communications* 2021; 26: 101855.
- Cassell C., Benedict M., Specker B. Bone mineral density in elite 7-to 9-yr-old female gymnasts and swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996; 28(10): 1243-1246.
- Clarke DR. Materials selections guidelines for low thermal conductivity thermal barrier coatings. *Surface and Coatings Technology* 2003; 163-164: 67-74.
- Degarmo EP. *Materials & processes in manufacturing* (5th Edition). Macmillan (1979).
- Every AG. General closed-form expressions for acoustic waves in elastically anisotropic solids. *Physical Review B* 1980; 22(4): 1746.
- Fehling PC., Alekel L., Clasey J., Rector A., Stillman RJ. A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone* 1995; 17(3): 205-210.
- Fine ME., Brown LD., Marcus HL. Elastic constants versus melting temperature in metals. *Scripta Metallurgica* 1984; 18(9): 951-956.
- Franchi M., Pasquale VD., Ruggeri A., Strocchi R. Tricalcium phosphate endosseous implants in dentistry. *Ultrastructural Findings* 1991; 34(3-4): 123-131.
- Gaillac R., Pullumbi P., Coudert FX. ELATE: an open-source online application for analysis and visualization of elastic tensors. *Journal of Physics: Condensed Matter* 2016; 28(27): 275201.
- Geetha M., Singh AK., Asokamani R., Gogia AK. Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review. *Progress in Materials Science* 2009; 54(3): 397-425.
- Giannozzi P., Baroni S., Bonini N., Calandra M., Car R., Cavazzoni C., Ceresoli D., Chiarotti GL., Cococcioni M., Dabo I., Dal Corso A., De Gironcoli S., Fabris S., Fratesi G., Gebauer R.,

- Gerstmann U., Gougoussis C., Kokalj A., Lazzeri M., Wentzcovitch RM. Quantum Espresso: A modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of Physics Condensed Matter* 2009; 21(39).
- Gutiérrez Moreno JJ., Papageorgiou DG., Evangelakis GA., Lekka CE. An ab initio study of the structural and mechanical alterations of Ti-Nb alloys. *Journal of Applied Physics* 2018; 124(24): 245102.
- Haines J., Léger J., Bocquillon G. Synthesis and design of superhard materials. *Annual Review of Materials Research* 2001; 31(1): 1–23.
- Hartwig A. Role of magnesium in genomic stability. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 2001; 475(1–2): 113–121.
- Hill R. The elastic behaviour of a crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society. Section A* 1952; 65(5): 349–354.
- Jain A., Ong SP., Hautier G., Chen W., Richards WD., Dacek S., Cholia S., Gunter D., Skinner D., Ceder G., Persson KA. Commentary: The materials project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials* 2013; 1(1): 011002.
- Kuwahara H., Al-Abdullat Y., Mazaki N., Tsutsumi, S., Aizawa T. Precipitation of magnesium apatite on pure magnesium surface during immersing in Hank's solution. *Materials Transactions* 2001; 42(7): 1317-1321.
- Li X., Guo C., Liu X., Liu L., Bai J., Xue F., Lin P., Chu C. Impact behaviors of poly-lactic acid based biocomposite reinforced with unidirectional high-strength magnesium alloy wires. *Progress in Natural Science: Materials International* 2014; 24(5): 472-478.
- Liu W., Niu Y., Li W. Theoretical prediction of the physical characteristic of Na_3MO_4 (M=Np and Pu): The first-principles calculations. *Ceramics International* 2020; 46(16): 25359–25365.
- Long J., Shu C., Yang L., Yang M. Predicting crystal structures and physical properties of novel superhard p-BN under pressure via first-principles investigation. *Journal of Alloys and Compounds* 2015; 644: 638–644.
- Long M., Rack H. Titanium alloys in total joint replacement—a materials science perspective. *Biomaterials* 1998; 19(18): 1621–1639.
- Methfessel M., Paxton A. T. High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. *Physical Review B* 1989; 40(6): 3616.
- Monkhorst HJ., Pack JD. Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B* 1976; 13(12): 5188–5192.
- Nagels J., Stokdijk M., Rozing PM. Stress shielding and bone resorption in shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 2003; 12(1): 35–39.
- Niinomi M. Mechanical properties of biomedical titanium alloys. *Materials Science and Engineering: A* 1998; 243(1–2): 231–236.

- Niinomi M. Recent metallic materials for biomedical applications. *Metallurgical and Materials Transactions A* 2002; 33(3): 477–486.
- Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2008; 1(1): 30–42.
- Nye J. *Physical properties of crystals: their representation by tensors and matrices*. Oxford University Press. 1985.
- Okuma T. Magnesium and bone strength. *Nutrition* 2001; 17(7–8): 679–680.
- Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada S. Beta Ti alloys with low young's modulus. *Materials Transactions* 2004; 45(8): 2776–2779.
- Özer T. Determination of melting temperature (H. Demirkaya, M. Canbulat, A. Pular, M. Eraslan, B. Direkci (ed.); 4 th International Congress on Multidisciplinary Studies 2018; 87–99.
- Özer T. Investigation of pressure dependence of mechanical properties of SbSI compound in paraelectric phase by Ab Initio method. *Computational Condensed Matter* 2021; 28: e00568.
- Paufler PL., Gibson L., Ashby MF. *Cellular solids. Structure & properties*. Crystal Research and Technology 1990; 25(9): 1038–1038.
- Perdew JP., Burke K., Ernzerhof M. Generalized Gradient Approximation Made Simple. *Physical Review Letters* 1996; 77(18): 3865.
- Petit AT., Dulong PL. Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur. *Annales de chimie et de physique* 1819; 395–413.
- Ranganathan SI., Ostoja-Starzewski M. Universal Elastic Anisotropy Index. *APS* 2008; 101(5):
- Saal JE., Kirklin S., Aykol M., Meredig B., Wolverton, C. Materials design and discovery with high-throughput density functional theory: The Open Quantum Materials Database (OQMD). *JOM* 2013; 65(11): 1501–1509.
- Sasaki TT., Ohkubo T., Hono K. Precipitation hardenable Mg–Bi–Zn alloys with prismatic plate precipitates. *Scripta Materialia* 2009; 61: 72–75.
- Saris NEL., Mervaala E., Karppane H., Khawaja JA., Lewenstam A. Magnesium. *Clinica Chimica Acta* 2000; 294(1-2): 1–26.
- Serre CM., Papillard M., Chavassieux P., Voegel JC., Boivin G. Influence of magnesium substitution on a collagen-apatite biomaterial on the production of a calcifying matrix by human osteoblasts. *Journal of Biomedical Materials Research* 1998; 42(4): 626–633.
- Staiger MP., Pietak AM., Huadmai J., Dias G. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. *Biomaterials* 2006; 27(9): 1728–1734.
- Sumner DR., Turner TM., Igloria R., Urban RM., Galante JO. Functional adaptation and ingrowth of bone vary as a function of hip implant stiffness. *Journal of Biomechanics* 1998; 31(10): 909–917.
- Šupová M. Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: A review. *Ceramics International* 2015; 41(8): 9203–9231.

- Tian Y., Xu B., Zhao Z. Microscopic theory of hardness and design of novel superhard crystals. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2012; 33: 93–106.
- Velikokhatnyi OI., Kumta PN. First principles study of the elastic properties of magnesium and iron based bio-resorbable alloys. *Materials Science and Engineering: B* 2018; 230: 20–23.
- Vormann J. Magnesium: nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine* 2003; 24(1–3): 27–37.
- Wen C., Mabuchi M., Yamada Y., Shimojima K., Chino Y., Asahina T. Processing of biocompatible porous Ti and Mg. *Scripta Materialia* 2001; 45(10): 1147–1153.
- Wiesmann HP., Tkotz T., Joos U., Zierold K., Stratmann U., Szewart T., Plate U., Höhling HJ. Magnesium in newly formed dentin mineral of rat incisor. *Journal of Bone and Mineral Research* 1997; 12(3): 380–383.
- Witte F., Kaese V., Haferkamp H., Switzer E., Meyer-Lindenberg A., Wirth CJ., Windhagen H. In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response. *Biomaterials* 2005; 26(17): 3557–3563.
- Wolf F. Chemistry and biochemistry of magnesium. *Molecular Aspects of Medicine* 2003; 24(1–3): 3–9.
- Yamasaki Y., Yoshida Y., Okazaki M., Shimazu A., Kubo T., Akagawa Y., Uchida T. Action of FGMgCO₃Ap-collagen composite in promoting bone formation. *Biomaterials* 2003; 24(27): 4913–4920.
- Yamasaki Y., Yoshida Y., Okazaki M., Shimazu A., Uchida T., Kubo T., Akagawa Y., Hamada Y., Takahashi J., Matsuura N. Synthesis of functionally graded MgCO₃ apatite accelerating osteoblast adhesion. *Journal of Biomedical Materials Research* 2002; 62(1): 99–105.
- Yousef ES., El-Adawy A., El-KheshKhany N. Effect of rare earth (Pr₂O₃, Nd₂O₃, Sm₂O₃, Eu₂O₃, Gd₂O₃ and Er₂O₃) on the acoustic properties of glass belonging to bismuth–borate system. *Solid State Communications* 2006; 139(3): 108–113.

Adana İli'ndeki Bireylerin Çevre Konusundaki Tutumları ve Bireysel Davranışları

Nermin BAHSI^{1*}, Dilek BOSTAN BUDAK², Zeynep ZAIMOĞLU³, Aybüke KAYA⁴

¹ Department of Organic Farming Management, Kadirli Faculty of Applied Sciences, Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, Turkey

² Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Çukurova University, Adana, Turkey

³ Department of Environmental Engineering, Çukurova University, Adana, Turkey

⁴ Department of Agricultural Economics, Hatay Mustafa Kemal University, Antakya, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-1630-7720>

²<https://orcid.org/0000-0001-6318-698X>

³<https://orcid.org/0000-0002-9573-4781>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-6866-1951>

*Corresponding author: nerminbahsi@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.04.2022

Kabul tarihi: 30.08.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Çevresel tutum

Bireysel davranış

Çevre sorunlarının kaynakları

Çevresel farkındalık

Bu çalışmanın amacı, Adana İli kentsel alanda yaşayan bireylerin çevre konusundaki tutum ve davranışlarını ölçmektir. Bu amaçla Adana İli'nde yaşayan 384 bireyle yüz yüze anket çalışması yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bireylerin çevre sorunlarına sebep olabilecek uygulamalar konusunda bilgi sahibi oldukları görülmektedir. Ancak çevre konusundaki davranışlarının düzenli olmadığı ve belirli uygulamaları zaman zaman yaptıkları görülmektedir. Geri dönüştürülmüş materyalden üretilmiş paketli ürün satın almayı çok tercih etmedikleri belirlenmiştir. Bireylerin cinsiyet, yaş ve eğitim değişkenlerine göre çevresel tutum, davranış ve çevre sorunlarının kaynakları arasında da farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bütün bu sonuçlar dikkate alındığında, gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için, bireyler çevre konusunda bilinçlendirilmelidir. Çevre korumaya yönelik davranışlarının kalıcı hale getirilmesi açısından hükümetlerin etkin politikalar üretmesi gerekmektedir. Ayrıca, çevre konusunda farkındalığın artırılması için her seviyede eğitim programlarına ağırlık verilmelidir.

Attitudes and Behaviors of People about Environment in Adana Province, Turkey

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 19.04.2022

Accepted: 30.08.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Environmental attitude

Individual behaviour

Sources of environmental problems

Environmental awareness

The aim of this study is to measure the environmental attitudes and behaviors of individuals living in the urban area of Adana province. For this purpose, a face-to-face survey was conducted with 384 individuals living in Adana. According to the results of the research, it is seen that individuals have knowledge about practices that may cause environmental problems. However, it is seen that their behaviors with respect to the environment are not regular and they act in a particular manner from time to time. It has been determined that they do not prefer to buy packaged products made of recycled materials. It has been determined that there are differences between the environmental attitudes, behaviors and sources of environmental problems according to the gender, age and education variables of the individuals. Considering all these results, individuals should be made aware of the environment in order to leave a more livable environment for future generations. In order to make their environmental protection behaviors permanent, governments need to produce effective policies. In addition,

education programs at all levels should be emphasized in order to increase awareness about the environment.

To Cite: Bahsi N., Budak DB., Zaimoğlu Z., Kaya A. Attitudes and Behaviors of People about Environment in Adana Province, Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1672-1689.

1. Introduction

Environment is a concept that embraces all living beings and non-living things. We meet all our needs for survival from these assets, which we call environmental resources. The rapidly increasing population, urbanization, economic activities and diversifying consumption habits increase the pressure on the environment and natural resources (Ministry of Environment and Urbanization, 2020). Global economic policies have focused on the short-term use of natural resources without considering sustainability. As a result, serious environmental degradation has occurred. In addition, biodiversity loss occurs through industrialization, urbanization, agriculture and ever-increasing energy (Ogunbode and Arnold, 2012). Environmental degradation, which is caused by air and water pollution, noise, radiation, chemicals or biological factors, and the destruction of natural areas -forests in particular, have adverse impacts on human health (Ministry of Environment and Urbanization, 2020). A society that is unaware of its environment and uneducated does not know how to use its environment, consumes natural resources rapidly and causes danger for the future (Oktav et al., 2021). The fact that the environment must be protected and preserved in order to enable future life cannot be denied (Verma, 2016). The existence of environmental problems poses a great threat to the continuity of living things. Elimination of this threat will only be possible by raising awareness of people about this issue and acting more consciously. Environmental problems have become a global element that concerns all people without borders (Ministry of Environment and Urbanization, 2020). Being aware of current problems and their causes raises anxiety but also encourages action (Korhonen and Lappalainen, 2004). People may be conscious and know what to do for the sake of the environment, but this does not necessarily mean that they intend to take action (Mei et al., 2016).

The most effective and permanent solution to eliminate and combat environmental problems is to raise environmentally sensitive societies. (Ateşoğlu and Erkal, 2018). Increasing environmental awareness is thought to reverse the misuse of the environment and resources. (Omoogun et al., 2016). Environmental awareness is understanding the significance of not harming the environment and using it at a sustainable level (Yücel et al., 2006; Ateşoğlu and Erkal, 2018). Accordingly, an environmentally conscious person is an individual who has fundamental information about the environment, adopts positive attitudes towards the environment and shows positive behaviors towards the protection of the environment (Yoloğlu and Halisdemir, 2020). Environmental awareness basically requires being aware of the environment and behaving in harmony with it (Kurt Konakoğlu, 2020). Environmental awareness includes the perception and understanding of threats, changes, and available options, and values, attitudes, and preferences among conflicting goals (Takala, 1991). Environmental awareness, which is a concept related to laying a claim on the environment and being sensitive to

environmental problems, consists of elements such as seeing the mistakes in attitudes, sensitivity and behaviors towards the environment, and having information about the values of the environment (Acungil, 2020). Individuals who have environmental awareness and are concerned about the impact of environmental problems on themselves are expected to act by paying attention to the environment in every activity while continuing their lives, because the environmental behavior of individuals is a reflection of their sensitivity to the environment (Özbebek Tunç et al., 2012).

In order to have a solid grasp of environmental attitudes, the level of knowledge of the population under observation about the severity of environmental problems, their reactions and their interaction with nature should be determined by evaluating environmental awareness (Ogunbode and Arnold, 2012). Environmental consciousness is affected by individual characteristics, perceived environment and experience (Li, 2018). Considering that only what can be measured can actually be managed, measuring environmental awareness according to scientific criteria becomes more and more interesting for scientists working in different disciplines (Ham et al., 2016). For this reason, many studies on the environment have been conducted in different countries (Takala, 1991; Palmer et al., 1998; Duroy, 2005; Yücel et al., 2006; Daudi, 2008; Ogunbode and Arnold, 2012; Özbebek Tunç et al., 2012; Ham et al., 2016; Öden et al., 2015; Ünver et al., 2015; Mei et al., 2016; Omoogun et al., 2016; Verma, 2016; Doğan and Puruçuoğlu, 2017; Morrison and Beer, 2017; Karahan, 2017; Gökdayı and Demirel, 2018; Ateşoğlu and Erkal, 2018; Wong and Wan, 2008). The level of environmental knowledge is the leading factor in raising environmental awareness (Nazarenko and Kolesnik, 2018). Consciousness, sensitivity and awareness can be gained by individuals with an effective education starting from an early age (Karatekin, 2014). Based on this idea, studies have been conducted with students at different levels of education (Korhonen and Lappalainen, 2004; Budak et al., 2005; Hassan et al., 2010; Keleş et al., 2010; Oğuz et al., 2011; Karatekin, 2014; Altın et al., 2014; Şahin et al., 2016; Tomar, 2017; Kiper et al., 2017; Nazarenko and Kolesnik, 2018; Žuk and Žuk, 2018; Gül et al., 2018; Ateş and Öner, 2020; Kurt Konakoğlu, 2020; Acungil, 2020; Yoloğlu and Halisdemir, 2020; Oktav et al., 2021).

In order to solve environmental problems, to develop policies in this regard, and to create a livable environment that is sensitive to environmental problems, it is necessary to reveal the current situation in order to create a conscious society with a high level of awareness. Learning the attitudes and behaviors of individuals about the environment is an indicator of how aware we are of environmental problems and how consciously we act in the solution of these problems. In the light of this information, plans can be made for the necessary studies to develop and increase awareness and consciousness. The aim of this study is to measure the environmental attitudes and behaviors of individuals living in the urban area of Adana province.

2. Materials and Method

The main material of the research is the primary data obtained as a result of the face-to-face survey with individuals living in the urban area of Adana. The survey questions prepared for the research were developed by taking into account the purpose of the research, the content of the subject and the characteristics of the main population to which the survey will be applied. Similar studies in the literature were also referred in this study. The sample size of this study was calculated according to the Simple Random Probability Sampling method. The formula of the method is as follows (Yamane, 2001).

$$n = \frac{z^2(p * q)}{d^2}$$

n: sample size

z: 1,96 (standard z-value corresponding to 95% confidence level)

p: the probability of the sample to represent the universe (%50)

q: (1-p) the proportion of the universe that does not have the relevant characteristic

d: sensitivity (accepted as $\pm 5\%$)

As a result of the calculation, the sample size was calculated as 384. The research data were evaluated through statistical package programs and presented in the form of frequency distributions, averages and correlation analyzes made in accordance with the purpose of the study. According to the characteristics of the participants, relationship analyzes were conducted to investigate whether there is a statistically significant difference between the attitudes of the individuals, their behaviors, the practices they can do for the environment, the practices that cause environmental problems, and the thoughts of the individuals about the person or situations they are affected by in order to protect the environment. In order to decide on the statistical technique to be used, the single-sample Kolmogorov-Smirnov test was applied. At the end of the Kolmogorov Smirnov test analysis, it was reported that the specified variables did not show normal distribution, respectively. Mann Whitney U Test and Kruskal Wallis H test were applied, since parametric tests could not be used for data not suitable for normal distribution.

3. Results and Discussion

3.1. Demographic characteristics of individuals

Results showed that 49% of the individuals participating in the study are women, 51% are men and 55.2% are married individuals. Individuals are between the ages of 17-78, and the average age is 35. Approximately 80% of the individuals participating in the research consist of individuals under the age of 45 in the active population. Only 20% of individuals are educated people with high school degree, and about 60% have undergraduate and graduate degrees. While the number of individuals in the

household varies between 1-10, they are families of about 4 people. About 16% of individuals have a monthly income of less than 1500 TL, 35.3% have a monthly income of 1501-3000 TL, about 50% of them have a monthly income above 3000 TL. In addition, 9.4% of individuals stated that they were members of an environmental organization, while 90.6% stated that they were not members of any environmental organizations. About 18% of individuals work in the public sector, 21.6% work in the private sector, and 13.0% are housewives and 18.5% are students. Results showed that 37.2% of individuals do not know where to file a complaint about environmental pollution. Individuals make their complaints about environmental pollution mostly to institutions and organizations such as the Ministry of Environment and Urbanization, Municipality, Prime Ministry Communication Center (BİMER), Governor's Office and Turkish Foundation for Combating Erosion, Afforestation and Conservation of Natural Assets (TEMA).

3.2. Attitudes and behaviors of individuals about the environment

Information about the environmental behavior of individuals is demonstrated in Figure 1. It is seen that individuals do not tend to buy packaged products made from recycled materials. It is seen that they sometimes do practices such as separating recyclable materials, using different transportation methods to reduce the use of personal cars, purchasing products made of durable materials to use them for a longer period of time, preferring products that can be used for longer periods of time, and avoiding purchasing disposable products. These results show that the behaviors of individuals regarding the protection of the environment are not of regular and systematic manner.

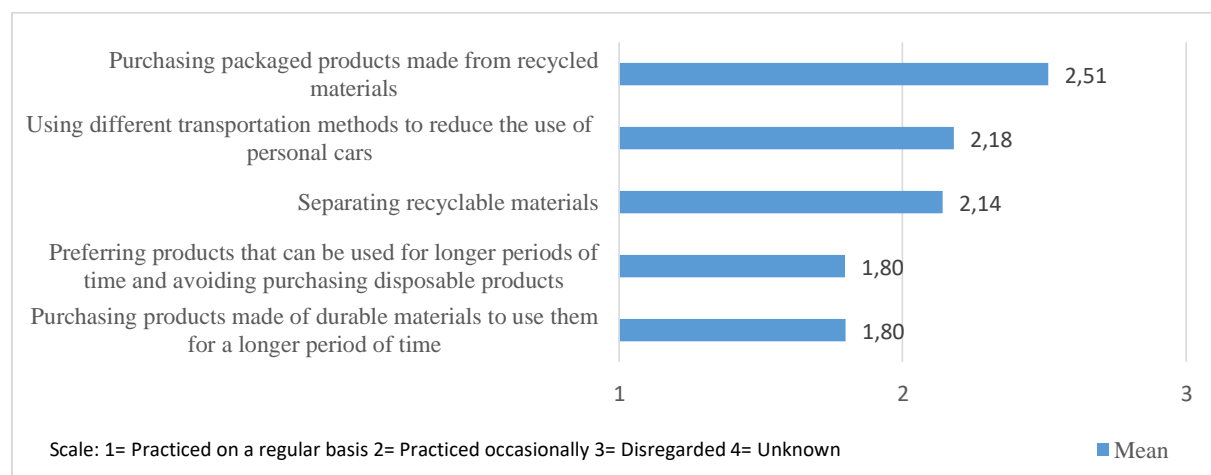


Figure 1. Individuals' environmental behaviours

Individuals' opinions and considerations on what can be done about the environment are given in Figure 2. While the participants thought that certain things could be done about the emission of greenhouse gases and the increased greenhouse effect, they were concerned about the pollution of the environment as a result of the pollution of chemical wastes, the air pollution caused by the car exhaust, the water pollution caused by the factory wastes, the indoor air pollution and the solid wastes caused by the garbage disposal thus they argued that a lot of things can be done for these problems.

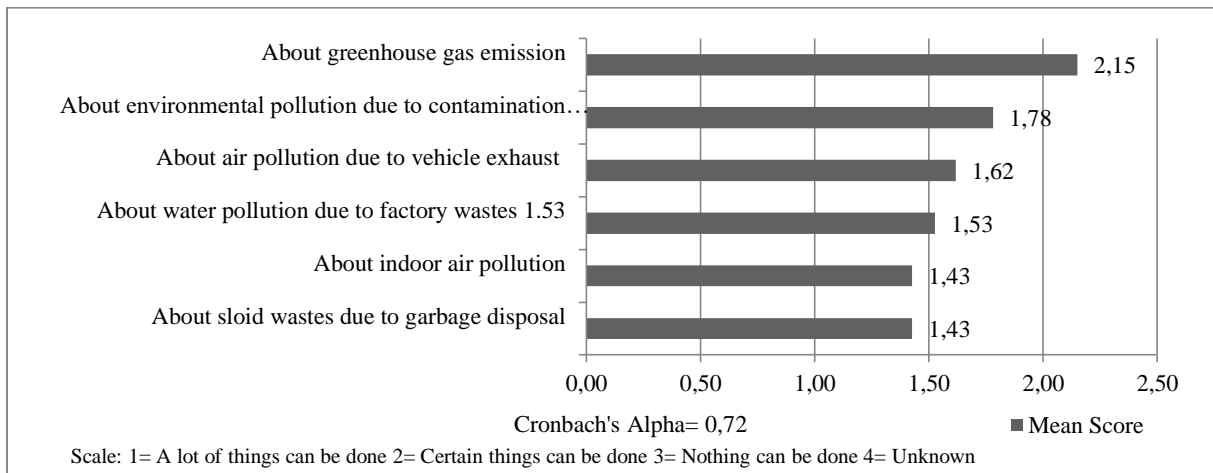


Figure 2. Individuals' opinions and considerations on what can be done about the environment

The views of individuals reflecting their lifestyles and attitudes towards the environment are shown in Figure 3. While individuals state that they are not confused about what is good or bad for the environment, they are indeed undecided based on their statements saying that "New technologies will solve environmental problems before they further aggravate. It is understood that they do not agree with the assumptions that the improvement of living conditions leads to environmental pollution, that they do not have time to consider the consequences of their behaviors on the environment, that they will be ashamed if their entourage learn that they do not recycle their garbage, that the recovery of the economy takes precedence of the environment, that commercial enterprises' obligations to spend a lot of money to protect the environment will prevent research and development (R&D) investments, and that local governments are obliged to encourage people to contribute in recycling.

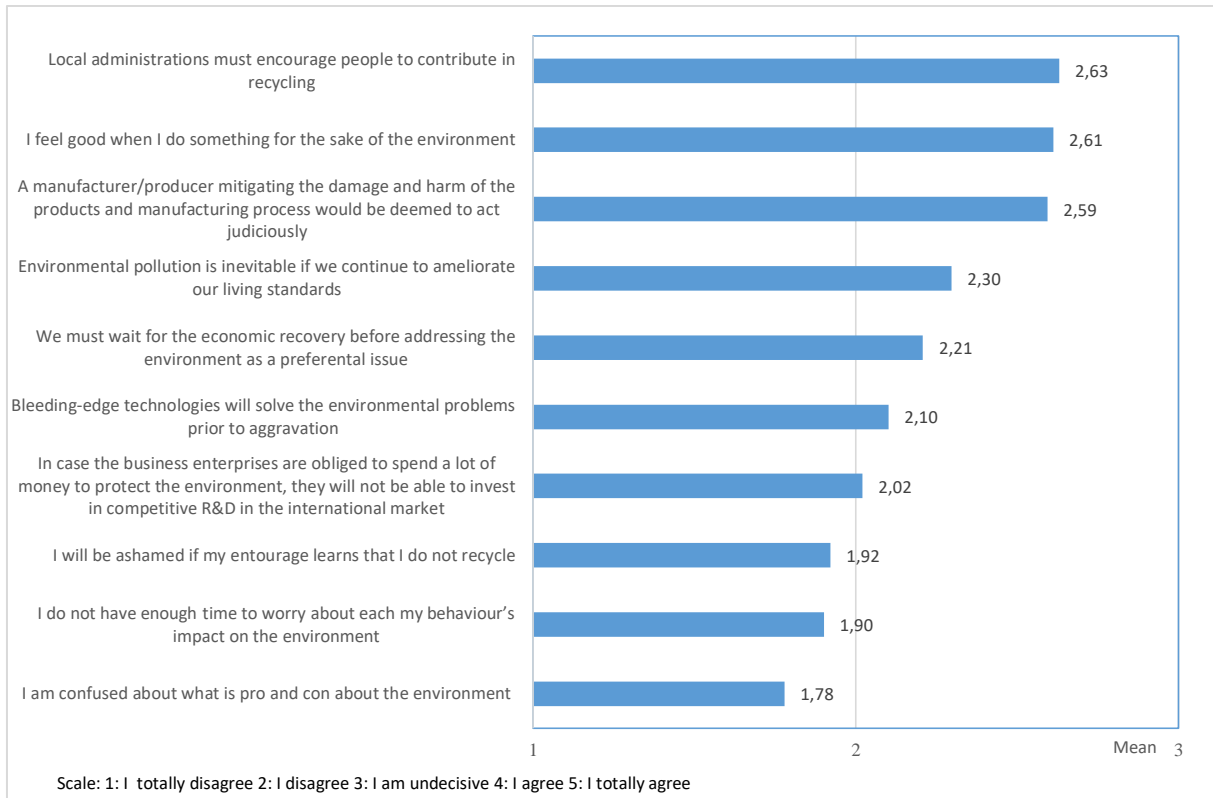


Figure 3. Individuals' lifestyles and their attitudes towards the environment

The thoughts of individuals about people and situations that may make them want to change their attitudes in order to protect the environment are given in Figure 4. While all kinds of discourse and behavior on environmental issues are very effective on individuals to change their attitudes towards environmental protection, the encouragement of famous people is somewhat effective.

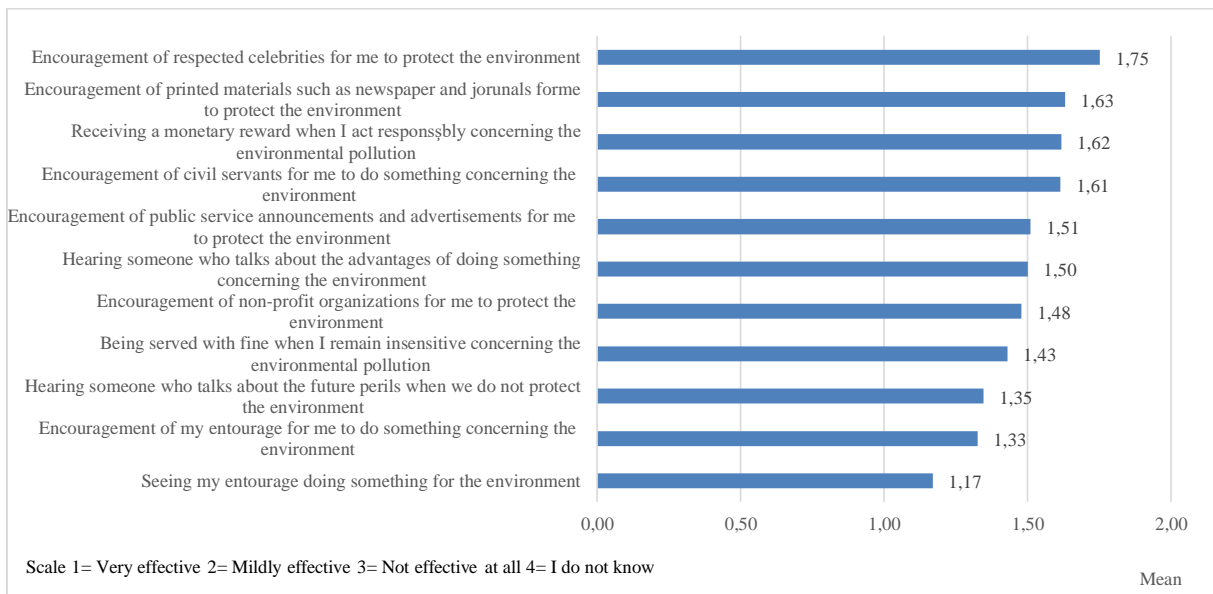


Figure 4. Persons and situations that can persuade individuals want to change their attitudes to protect the environment

The opinions of the participants on practices that may cause environmental problems are given in Figure 5. Individuals consider issues such as the fact that factories cause pollution during

manufacturing, the products used by enterprises cause environmental problems (pollution, recycling problems, etc.), the fact that states do not make a collaborative effort for matters that require international cooperation, as the main causes of pollution. On the other hand, they state that other expressions may partially cause environmental problems. This situation demonstrates that the individuals participating in the research have sufficient knowledge about the sources of environmental problems. According to the study conducted by Morrison and Beer (2017) on consumption and environmental awareness, it is stated that approximately half of the population (0.545) is aware of the environmental impact of the products they buy and use.

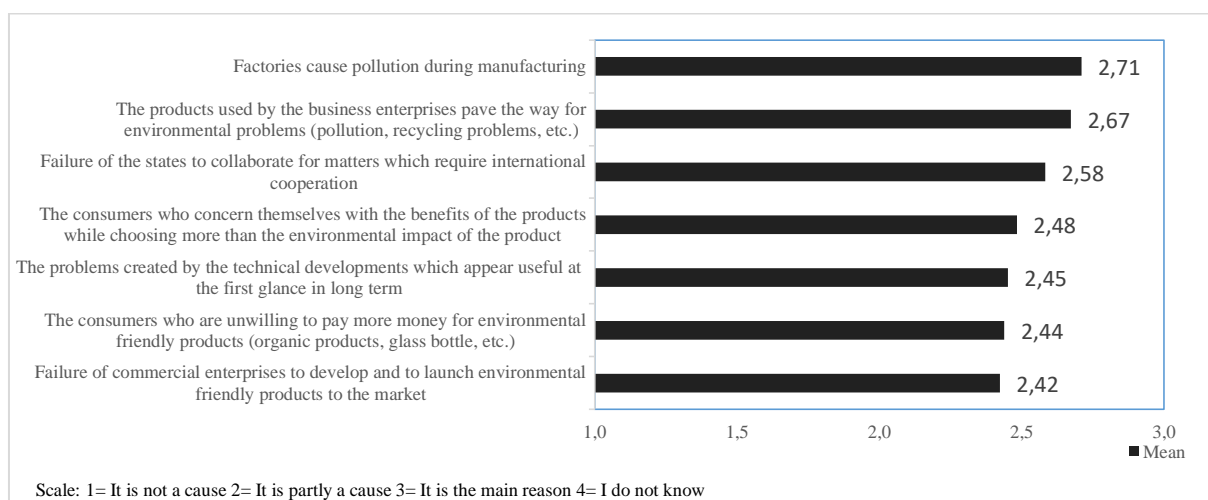


Figure 5. Thoughts and considerations on practices that may cause environmental problems

3.2. Analysis of the relationships between demographic characteristics with attitudes and behaviors

Mann-Whitney U test results conducted to investigate whether there is a statistically significant difference between individuals' attitudes, behaviors, practices they may do for the environment, practices that cause environmental problems, and their thoughts on the person or situations they are affected by in order to protect the environment, according to gender, marital status and membership to an environmental organization are shown in Table 1.

As a result of the analysis, it was determined that there was a statistically significant difference at the level of 0.05 between the environmental behaviors of individuals according to gender (Table 1). Compared to men, women exhibit more positive behaviors in consideration of propositions such as "using different transportation methods to reduce the use of personal cars, purchasing products made of durable materials for long-term use, and avoiding disposable products and choosing products that can be used for many times". Compared to men, it is seen that women use more environmental protection practices in their daily lives on an individual basis. In the literature, it is seen that women use environmentally friendly practices more frequently than men.

Table 1. Mann-Whitney U Test results

Mann-Whitney U Testi		Attitude	Behaviour	Influencing person and situation	What individuals may do	Sources of environmental problems
Gender	Chi-Square	1,262	4,547	0,059	0,975	1,267
	df	1	1	1	1	1
	Asymp. Sig.	0,261	0,033	0,808	0,323	0,260
Marital status	Chi-Square	0,146	0,002	1,009	7,389	0,020
	df	1	1	1	1	1
	Asymp. Sig.	0,702	0,962	0,315	0,007	0,887
Membership of an environmental organization	Chi-Square	0,018	8,283	4,916	1,442	0,069
	df	1	1	1	1	1
	Asymp. Sig.	0,894	0,004	0,027	0,230	0,793

Ateşoğlu and Erkal (2018) concluded in their research that women have higher positive attitudes towards the environment than men. Çifci and Şakacı (2015), in their study conducted with university students determined that women consumers attach more importance to environmentally conscious consumption compared to men consumers. Özbebek Tunç et al. (2012), in their study conducted with university students, determined that the gender variable had a positive effect on the relationship between environmental awareness and personal measures to protect the environment. Kiper et al. (2017) found that women are more sensitive than men about their cleaning supplies preferences and waste oil spilled in the sink in terms of their effects on the environment and human health. Wong and Wan (2008), in their study conducted to examine the development of environmental awareness and behavior in Hong Kong, state that women tend to engage in environmentally friendly practices more frequently. For individuals, the practice of environmental protection includes the need to make different sacrifices, such as giving up private cars and paying higher prices for environmentally friendly products, rather than shouting empty slogans (Wong and Wan, 2008). Yoloğlu and Halisdemir (2020), in their study conducted with Mersin University students, stated that there is a significant difference in environmental attitude/behavior scores of students according to gender, and that the attitudes and behaviors of women students are more environmentally friendly than men students. Öden et al. (2015), in their study conducted to measure the environmental awareness and environmental sensitivity of citizens living in the Sarayönü district of Konya province, found that women have higher environmental awareness than men. Altın et al. (2014), in their study conducted to determine secondary school students' awareness of environmental problems and their levels of active participation in environmental activities, revealed that women students have higher environmental awareness and active participation levels. According to a limited number of studies, it has been determined that men are more sensitive about environmentally friendly practices. Acungil (2020), in a study conducted to determine the environmental attitudes, awareness, sensitivity and behavior

perceptions of university students studying in the city center of Tokat, found that there is a gender oriented difference in environmental behavior and sensitivity, and that men students acquired more positive environmental behaviours and sensitivities than women students. According to a limited number of studies, it has been determined that there is no significant relationship between gender and exhibiting environmentally friendly behaviors. Karaismailoğlu (2018) determined that teachers' environmental friendly behaviors did not make a difference depending on gender, and that men and women teachers exhibited similar environmentally friendly behaviors.

According to the gender variable, it has been determined that there is no statistically significant difference between the attitudes of the individuals, the practices they can do for the environment, the practices that cause environmental problems, and the thoughts of the individuals about the people or situations they are affected by in order to protect the environment (Table 1). Although there are studies in the literature that support that there is no difference in attitudes according to the gender variable, there are also studies that state that attitudes differ according to gender. Doğan and Purutçuoğlu (2017) determined that gender was not statistically effective on the attitudes of social workers towards the environment. Ateş and Öner (2020), in their study in which they examined the level of awareness of preservice teachers towards environmental problems, determined that the level of awareness of preservice teachers towards environmental problems did not differ significantly according to the gender variable. Oktav et al. (2021), in their study conducted to determine the awareness levels of associate's degree students about environmental problems, stated that women university students were more numerous than men students, but no statistically significant result was obtained from the gender difference. Karaismailoğlu (2018), in his study conducted with teachers in the province of Ankara, revealed that women participants' attitudes towards the environment were higher than that of men. Ünver et al. (2015) determined that the awareness and attitude scores of women were higher than men according to their study conducted to determine the awareness and attitude levels of nurses towards the environment. Yücel et al. (2006), in their study conducted to investigate the views and attitudes of individuals in Adana province, on environmental problems, stated that women are more sensitive to the environment in terms of both environmental awareness and attitudes than men. According to the study conducted by Özden (2008) with Adıyaman University students, as they examined the impact and influence of gender on attitudes towards environmental problems, found that women teacher candidates had higher average scores in all dimensions than men teacher candidates. Boeve-de Pauw and Petegem (2010) stated that at the individual level, girls have more environmentally positive attitudes than boys. Budak et al. (2005), according to the study in which they evaluated the attitudes and behaviors of Agricultural faculty students towards the environment, stated that women students were more reluctant to environmental issues than men students. Doğan and Purutçuoğlu (2017), in their study conducted with social workers, state that gender does not generally make a significant difference on the level of environmental awareness, but in the comprehension sub-dimension, women are more successful in being aware of environmental problems and comprehending their causes.

As a result of the Mann-Whitney U analysis, it was determined that there is a statistically significant difference at the level of 0.05 between the membership status of an environmental organization and the people and situations that individuals are affected by with respect to environmental behavior and environmental issues (Table1). It is observed that individuals who are not members of an environmental organization exhibit more positive behaviors towards the environment as verified by the suggestions "Separating recyclable materials, purchasing packaged products made from recycled materials" compared to members of environmental organizations. Although it is expected that individuals who are members of environmental organizations will exhibit more positive behaviors towards the environment, the results reveal the opposite. More research should be done about environmental organizations actions. In the literature, there are findings that support this result as well as findings that do not. Karaismailoğlu (2018) stated that it has been observed that the behavior levels of the participants who are members of any environmental institution are lower than those who are not members. Budak et al. (2005) stated that those who are members of environmental organizations have more positive attitudes towards environmental issues. Karahan (2017) determined that managers who are members of non-governmental organizations and who receive environmental education are more sensitive to the environment.

It has been determined that the difference between the membership status of individuals to an environmental organization and the people and situations that they are affected by environmental issues is based on the following propositions (Table 1). "Seeing people around me doing something for the environment, People around me encouraging me to do something about the environment, Government officials encouraging me to do something about the environment, Famous people I respect encouraging me to protect the environment, Non-profit organizations encouraging me to protect the environment".

While there is no statistically significant difference between the marital status of individuals and their attitudes, behaviors, practices that cause environmental problems, and their thoughts on the person or situations they are affected by in order to protect the environment, there is a statistically significant difference at the level of 0.05 between their thoughts on the practices they can do for the environment (Table 1). Married individuals think more positively about what can be done about "Solid wastes generated as a result of garbage disposal, greenhouse gas emissions and increased greenhouse effect" compared to single individuals.

As a result of the Kruskal Wallis H Test, there is no statistically significant difference between the attitudes, behaviors, practices that cause environmental problems, the practices that cause environmental problems, the people or situations that individuals are affected by, and the practices they can do for the environment according to the households and working conditions in which they live (Table 2).

Table 2. Kruskal Wallis H Test Results

Kruskal Wallis H Test		Attitude	Behaviour	Influencing person and situation	What individuals may do	Sources of environmental problems
Age	Mann-Whitney U	3388,000	3047,500	3696,000	3042,500	2989,000
	Wilcoxon W	8338,000	5897,500	6546,000	7992,500	7939,000
	Z	-0,991	-2,037	-0,050	-2,050	-2,214
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0,321	0,042	0,960	0,040	0,027
Education	Mann-Whitney U	948,500	826,000	956,000	612,000	574,500
	Wilcoxon W	1938,500	1816,000	1946,000	1602,000	1564,500
	Z	-0,342	-1,357	-0,282	-3,112	-3,440
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0,732	0,175	0,778	0,002	0,001
Monthly income	Mann-Whitney U	1206,000	1313,000	1342,500	1290,000	1045,500
	Wilcoxon W	2241,000	3266,000	3295,500	2325,000	2080,500
	Z	-1,199	-0,521	-0,335	-0,667	-2,233
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0,230	0,602	0,738	0,505	0,026

It has been determined that there is a statistically significant difference of 0.05 between the ages of the individuals and their environmental behaviors, the practices they can do, the people and situations they are affected by (Table 2). It has been determined that individuals under the age of 25, namely young people, are more sensitive to purchasing packaged products made from recycled materials compared to other individuals. On the subject of what individuals can do for the environment, on the "emission of greenhouse gases and the increasing greenhouse effect", individuals over the age of 35 think more positively than young people. Individuals over the age of 45 state that when they see their friends and acquaintances doing something about the environment, and when civil servants encourage them to do something, they are more affected by the environment than younger individuals. Karahan (2017), in his study conducted in Elazığ in order to determine the environmental sensitivity and awareness levels of business managers and to determine the problems encountered in the field of environment, stated that the environmental awareness of the managers increases as the age and work experience of the managers increase.

While there was no statistically significant difference at the 0.05 significance level between the education level of individuals and their attitudes, behaviors and what they could do, it was determined that there was a difference between environmental problems and the people and situations they were affected by (Table 2). In other words, regardless of the education level of individuals, it has been concluded that there is no positive or negative difference in attitudes, behaviors and what individuals can do for the environment. There are findings in the literature that environmental behaviors differ

according to education level. Wong and Wan (2008) stated that participants with higher education levels tend to use environmentally friendly practices more frequently. Duroy (2005) stated that education is significantly related to environmental behavior. Yücel et al. (2006) shows that the level of consciousness, attitude and sensitivity increases depending on the level of education. Ogunbode and Arnold (2012), in their study conducted in Nigeria, stated that education has significant effects on environmental knowledge and attitudes, with participants with tertiary education displaying significantly more "measured" knowledge than other categories. In addition, it has been revealed that there is a relationship between education levels and environmental concerns, with those with higher education levels having the highest concern and those with only vocational or primary education are the least concerned individuals. Altın et al. (2014) states that as the family education level increases, the environmental awareness and active participation level of the students also increase. Ateşoğlu and Erkal (2018) determined that as the education level of the adults participating in the research increases, their negative behaviors towards the environment decrease.

Individuals' thoughts on issues that cause environmental problems differ according to their education level (Table 2). Primary, secondary and high school graduates predominantly support the view that consumers do not want to pay more for environmentally friendly products. Individuals with secondary and post-graduate education confirm that consumers are not interested in how products affect the environment, but in the benefits they provide.

The people and situations that the individuals participating in the research are affected by concerning environmental issues differ according to their education levels (Table 2). Although there is no difference according to education level for the proposition "I will not be fined if I am insensitive about environmental pollution", it has been determined that those with a lower education level are more affected by the people and situations around them than university and graduate graduates with respect to environmental issues.

While there was no statistically significant difference at the 0.05 importance level between the income level of individuals and their attitudes, behaviors, what they could do and environmental problems, it was determined that there was a difference between the people and situations they were affected by (Table 2). The differentiation of the income level of individuals does not make a difference in their views on the environment, and the influencing people and situations differ with respect to the income level. Individuals with low income levels are more affected by the incentives and practices of the people around them than individuals with high income.

4. Conclusion and Suggestions

In parallel with the developments in economic, technological and social fields worldwide and the increase in population, the aggravation of pressure on natural resources increases the interest in the environment and environmental problems. In the study conducted to determine the attitudes and behaviors of individuals living in the urban area of Adana province, it has been determined that

individuals have sufficient knowledge about the sources of environmental problems and that many things can be done by individuals in order to prevent environmental problems. It has been determined that the environmental behaviors of individuals are not continuous, and that they occasionally exhibit environmentally friendly behaviors. In addition, it is seen that all kinds of discourse and behavior on environmental issues are effective on individuals' changing their attitudes towards environmental protection. In particular, it is seen that the variables of gender and age make a difference in individuals' environmentally friendly behaviors. It can be stated that the most important factor in women's displaying more environmentally friendly practices is the fact that women are the decision-makers as they are responsible for purchasing the needs of the family. Furthermore, it can be stated that young people tend to use environmentally friendly practices more frequently partially due to their future anxiety. In order to solve environmental problems, it is necessary to increase the environmental awareness of individuals and exhibit more conscientious behavior. Education programs, public service announcements, etc. should be created and developed by considering the differences between individuals' knowledge levels, environmental attitudes and behaviors in terms of variables such as gender, age, education level in order to achieve awareness-raising activities. In order to leave a more livable environment for future generations, it is important to exhibit behaviors aimed at protecting the environment both during production processes and in terms of individual consumption. At this juncture of time, governments should focus on policies aimed at creating pressure on companies regarding environmental protection measures to be applied during their production processes and ensuring the widespread use of environmentally friendly products and packaging.

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author Contributions

The authors contributed jointly at all stages of the article. All authors were active participants in the study and publication process and consented to participate.

References

- Acungil Y. A study on determining environmental attitudes and behavioral levels of university students: The case of Tokat Gaziosmanpaşa University. *Ankara University SBF Journal* 2020; 75(3): 997-1032. <https://doi.org/10.33630/ausbf.780600>
- Altın A., Tecer S., Tecer L., Altın S., Kahraman BF. Environmental awareness level of secondary school students: A case study in Balıkesir (Turkey). *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 2014; 141: 1208-1214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.207>

- Ateş HK., Öner AI. Investigation of preservice teacher awareness levels for environmental problems. *The Journal of Kesit Academy* 2020; 6(24): 126-144. <https://doi.org/10.29228/kesit.44369>
- Ateşoğlu UL., Erkal S. Yetişkinlerin çevresel sorunlara yönelik tutum ve davranışlarının incelenmesi. III. Uluslararası Al- Farabi Sosyal Bilimler Kongresi. 2018, Ankara. Kongre Tam Metin Kitabı, 94.
- Boeve-de Pauw J., Van Petegem P. A cross-national perspective on youth environmental attitudes. *The Environmentalist* 2010; 30(2): 133-144. <https://doi.org/10.1007/s10669-009-9253-1>
- Budak DB., Budak F., Zaimoglu Z., Kecec S., Sucu MY. Behaviour and attitudes of students towards environmental issues at faculty of agriculture, Turkey. *Journal of Applied Sciences* 2005; 5(7): 1224-1227.
- Çifci S., Şakacı BK. Environmentally conscious consumers' willingness to punish and reward firms: the differences between genders. *Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences* 2015; 10(1): 287-296.
- Daudi SS. Environmental literacy: A system of best-fit for promoting environmental awareness in low literate communities. *Applied Environmental education and communication*, 2008; 7(3): 76-82. <https://doi.org/10.1080/15330150802502155>
- Doğan I., Puruçuoğlu E. The determination of the environmental awareness levels of social workers and their attitudes towards the environment. *The Journal of Turkish Social Research*, 2017; 21(2): 389-405.
- Duroy QM. The determinants of environmental awareness and behavior. *Rensselaer Working Papers in Economics* 0501, 2005.
- Gökdayı F., Demirel M. Investigation of the levels of environmental awareness of the individuals at the nature sports activities as a leisure time activities. *International Journal Mountaineering and Climbing* 2018; 1(1): 45-53. <https://doi.org/10.36415/dagcilik.485987>
- Gül S., Aydoğmuş M., Çobanoğlu İH., Türk H. Investigation of environmental consciousness of university students: The Sample of Ondokuz Mayıs University. *Gazi Journal of Education Sciences* 2018; 4(3): 13-28. <https://doi.org/10.30855/gjes.2018.04.03.002>
- Ham M., Mrčela D., Horvat M. Insights for measuring environmental awareness. *Ekonomski vjesnik/Econviews - Review of Contemporary Business, Entrepreneurship and Economic Issues* 2016; 29(1): 159-176.
- Hassan A., Noordin TA., Sulaiman S. The status on the level of environmental awareness in the concept of sustainable development amongst secondary school students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2010; 2(2): 1276-1280. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.187>
- Karahan M. Determination of environmental sensitivity and awareness levels of business managers. *Manas Journal of Social Studies* 2017; 6(4): 359-374.

- Karaismailoğlu ES. Determination of teachers' environmental consciousness level- Ankara Etemesgut example. (Publication No. 516219) [Master's thesis, Hacettepe University], 2018. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Karatekin K. Social studies pre-service teachers' awareness of solid waste and recycling. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 2014; 116: 1797-1801. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.474>
- Keleş Ö., Uzun N., Uzun FV. The change of teacher candidates environmental consciousness, attitude, thought and behaviors with nature training project and the assessment of its permanence. *Electronic Journal of Social Sciences* 2010; 9(32): 384-401.
- Kiper T., Korkut A., Topal TÜ. A research on environmental sensitivity of university students: in the example of Namık Kemal University. *Inonu University Journal of Art and Design* 2017; 7(16): 112-124. <https://doi.org/10.16950/iu-jad.337132>
- Kurt Konakoğlu SS. A Study for determining the level of consciousness, awareness and sensitivity of university students on environmental issues: the case study of the Department of Urban Design and Landscape Architecture at the Amasya University, Turkey. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University* 2020; 11(2): 130-141. <https://doi.org/10.29048/makufebed.718232>
- Korhonen K., Lappalainen A. Examining the environmental awareness of children and adolescents in the Ranomafana region, Madagascar. *Environmental Education Research* 2004; 10(2): 195-216. <https://doi.org/10.1080/13504620242000198177>
- Li Y. Study of the effect of environmental education on environmental awareness and environmental attitude based on environmental protection law of the People's Republic of China. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 2018; 14(6): 2277-2285. <https://doi.org/10.29333/ejmste/86214>
- Mei NS., Wai CW., Ahamad R. Environmental awareness and behaviour index for Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 2016; 222: 668-675. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.223>
- Ministry of Environment and Urbanization. 6. Türkiye çevre durum raporu (Yayın No: 48). Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü. 2020, <https://ced.csb.gov.tr/>
- Morrison PS., Beer B. Consumption and environmental awareness: Demographics of the European experience. In Shibusawa H., Sakurai K., Mizunoya T., Uchida S. (Eds.), *Socioeconomic environmental policies and evaluations in regional science* (pp. 81-102). *New Frontiers in Regional Science: Asian Perspectives* 2017, vol 24. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0099-7_5
- Nazarenko AV., Kolesnik AI. Raising environmental awareness of future teachers. *International Journal of Instruction* 2018; 11(3): 63-76. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.1135a>

- Ogunbode CA., Arnold K. A study of environmental awareness and attitudes in Ibadan, Nigeria. *Human and ecological risk assessment: An International Journal* 2012; 18(3): 669-684. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.672901>
- Oğuz D., Çakıcı I., Kavas S. Environmental awareness of students in higher education. *Süleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal* 2011; 12(1): 34-39. <https://doi.org/10.18182/tjf.65605>
- Oktav T., Dereceli E., Ülkü HH. Awareness level of vocational school students about environmental problems. *Aydın Adnan Menderes University Journal of Institute of Social Sciences* 2021; 8(1): 1-14. <https://doi.org/10.30803/adusobed.814381>
- Omoogun AC., Egbonyi EE., Onnoghen UN. From environmental awareness to environmental responsibility: Towards a stewardship curriculum. *Journal of Educational Issues* 2016; 2(2): 60-72. <http://dx.doi.org/10.5296/jei.v2i2.9265>
- Öden MK., Küçükçongar S., Gök Z. An investigation into the environmental sensitivity and awareness level-a case study of Sarayönü district, Konya. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science And Technology* 2015; 3(11): 869-873. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i11.869-873.487>
- Özbebek Tunç A., Akdemir Ömür G., Düren AZ. Environmental awareness. *İstanbul University Siyasal: Journal of Political Sciences* 2012; 47: 227-246.
- Özden M. Environmental awareness and attitudes of student teachers: An empirical research. *International Research in Geographical and Environmental Education* 2008; 17(1): 40-55. <https://doi.org/10.2167/irgee227.0>
- Palmer JA., Suggate J., Bajd B., Tsaliki E. Significant influences on the development of adults' environmental awareness in the UK, Slovenia and Greece. *Environmental Education Research* 1998; 4(4): 429-444. <https://doi.org/10.1080/1350462980040407>
- Şahin S., Ünlü E., Ünlü S. Investigation of teacher candidates' environmental literacy awareness level. *Education Sciences* 2016; 11(2): 82-95. <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.2.1C0655>
- Takala M. Environmental awareness and human activity. *International Journal of Psychology* 1991; 26(5): 585-597. <https://doi.org/10.1080/00207599108247146>
- Tomar CS. Environmental awareness through education. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)* 2017; 7(3): 752-757.
- Ünver S., Avcıbaşı İM., Özkan ZK. Determination of environmental attitudes and awareness of nurses working in university hospital. *Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences* 2015; 18(4): 282-286.
- Verma SK. Environmental awareness: A need of nature. *Journal of Global Resources* Volume, 2016; 182-185.
- Wong TKY., Wan SP. Environmental awareness and behavior in Hong Kong: a decade of development. In *TASPAA Partnership with the International Conference on Sustainable Development*. 2008.

- Yamane T. Temel Örnekleme Yöntemleri (Translation: Alptekin Esin, M.Akif Bakır, Celal Aydın, Esen Gürbüzsel). Literatür Yayınları. Birinci Basım. İstanbul. 2001.
- Yoloğlu AC., Halisdemir B. An empirical study on environmental awareness and environmental attitudes of university students: The case of Mersin University. The Journal of Academic Social Science 2020; 103: 91-107. <https://doi.org/10.29228/ASOS.41902>
- Yücel M., Altunkasa F., Güçray S., Uslu C., SAY NP. Investigation on the environmental awareness level and its developing possibilities in Adana. Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture 2006; 19(2): 217-228.
- Žuk P., Žuk P. Environmental awareness and higher education: Differences in knowledge and the approach to ecology between students of technical sciences and the humanities in Poland. Applied Environmental Education and Communication 2018; 17(2): 150-160. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2017.1388196>

Solutions for KMM System and Generalized Hyperelastic-Rod Wave Equation

Seyma TULUCE DEMIRAY^{1*}, Emre CEREN²

^{1,2}Osmaniye Korkut Ata University, Department of Mathematics, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0002-8027-7290>

²<https://orcid.org/0000-0002-5224-1290>

*Corresponding author: seymatuluce@gmail.com

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 18.08.2022

Accepted: 01.10.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

GKM

Kraenkel-manna-merle system

Generalized hyperelastic-rod wave

equation

Soliton solutions

In this study, the Kraenkel-Manna-Merle (KMM) system and generalized hyperelastic-rod wave equation have been investigated. For this, generalized Kudryashov method (GKM), which is one of the solution methods of nonlinear evolution equations (NLEEs), has been implemented to KMM system and generalized hyperelastic-rod wave equation. Some solutions have been found for the considered equations and visualized in two and three dimensions using Wolfram Mathematica 12.

KMM Sistemi ve Genelleştirilmiş Hiperelastik-Rod Dalga Denklemi için Soliton Çözümler

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale tarihçesi:

Geliş tarihi: 18.08.2022

Kabul tarihi: 01.10.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

GKM

Kraenkel-Manna-Merle sistemi

Genelleştirilmiş hiperelastik-rod

dalga denklemi

Soliton çözümleri

Bu çalışmada Kraenkel-Manna-Merle (KMM) sistemi ve genelleştirilmiş hiperelastik-rod dalga denklemi incelenmiştir. Bunun için lineer olmayan evrim denklemlerinin çözüm yöntemlerinden biri olan genelleştirilmiş Kudryashov metodu (GKM), KMM sistemine ve genelleştirilmiş hiperelastik-rod dalga denklemlerine uygulanmıştır. Ele alınan denklemler için bazı çözümler bulunmuş ve Wolfram Mathematica 12 kullanılarak iki ve üç boyutlu olarak görselleştirilmiştir.

To Cite: Demiray ST., Ceren E. Solutions for KMM System and Generalized Hyperelastic-Rod Wave Equation. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1690-1703.

1. Introduction

Nonlinear evolution equations (NLEEs) are tackled in quite substantial scientific fields such as physics, biophysics, mathematical physics, optical fibers, mathematical chemistry, hydrodynamics, fluid dynamics, control theory, optics, mechanics, chemical kinematics, biogenetics and so on. With the improving world, NLEEs arise as having more difficult and complex solutions. Solving these equations and finding novel methods form a very important field of study. For this aim, several solution methods such as the $(G'/G, 1/G)$ -expansion method (Kara and Ünsal, 2022), tanh-coth approach (Ananna et al., 2022), homogeneous balance method (Eslami and Mirzazadeh, 2014),

exponential rational function method (Günay et al., 2021), Darboux-Prelle-Singer methods (Duarte and da Mota, 2021), sine-Gordon expansion method (Tuluçe Demiray and Bayrakci, 2021a) have been presented in the literature by some scientists.

(1+1) dimensional damped- Kraenkel-Manna-Merle (KMM) equation (Kraenkel et al., 2000; Kuetche et al., 2014; Jin and Lin, 2020) is given as:

$$\begin{aligned} w_{xt} - wv_x + sw_x &= 0, \\ v_{xt} + wv_x &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

$w = w(x, t)$ and $v = v(x, t)$ represent magnetization and the external magnetic fields with respect to the ferrite, whereas x and t are the displacement and time variables, respectively, while the parameter s demonstrates the damping effect (Younas et al., 2022). Eq. (1) defines the nonlinear ultra-short wave pulse motions in saturated ferromagnetic materials with an external field with zero-conductivity (Younas et al., 2022). The damped-KMM system ($s \neq 0$) was proved to be Painlevé property non-integrable. Ignoring the damping effect ($s = 0$), the damped-KMM system is converted into the KMM system (Jin and Lin, 2020).

Ignoring the damping effect ($s = 0$), a lot of solutions have been procured via inverse scattering method (Tchokouansi et al., 2016), generalized G'/G-expansion method (Li and Ma, 2018), bilinear method (Si and Li, 2018), auxiliary equation method (Li and Ma, 2018), Hirota's bilinear method (Nguepjouo et al., 2014), and so on.

Generalized hyperelastic-rod wave equation is presented as (Akcagil et al., 2016; Gözükızıl and Akçağıl, 2013),

$$w_t - w_{xxt} + \alpha w_x + 2\beta w w_x + 3\phi w^2 w_x - \gamma w_x w_{xx} - w w_{xxx} = 0, \tag{2}$$

where α, β, ϕ and γ are constants and we assume that ϕ is nonzero. Eq. (2) is utilized to define finite length, small amplitude radial deformation waves in cylindrical compressible hyper-elastic rods. Eq.

(2) also involves substantial physical models. For $\beta = \frac{3}{2}, \phi = 0$ and $\gamma = 2$ it can be converted into

Camassa-Holm equation. For $\beta = \frac{1}{2}, \phi = 0, \alpha = 1$ and $\gamma = 3$, it can be converted into Fornberg-

Whitham equation, Besides, for $\beta = 2, \phi = 0$ and $\gamma = 3$, it can be converted into Degasperis-Procesi equation (Akcagil et al., 2016; Gözükızıl and Akçağıl, 2013; Holden and Raynaud, 2007; Bendahmane et al., 2006; Coclite et al., 2005).

Our purpose in this study is to obtain some new solutions of the KMM system and generalized hyperelastic-rod wave equation using the generalized Kudryashov method (GKM) (Barman et al.,

2021; Gurefe, 2020; Tuluçe Demiray and Bayrakci, 2021b; Tuluçe Demiray and Bayrakci, 2021c; Bayrakci et al., 2022; Tuluçe Demiray et al., 2022). The basics of GKM was first presented. Then, the GKM was implemented to the recommended equations and some new soliton solutions were found by using the Wolfram Mathematica 12 package program.

2. Material and Method

2.1. Structure of GKM

Let's investigate the nonlinear partial differential equation as follow

$$S(w, w_t, w_x, w_{tt}, w_{xt}, w_{xx}, \dots) = 0, \quad (3)$$

where $w = w(x, t)$ is an unknown function, S is a polynomial of $w(x, t)$ and its derivatives with respect to x and t .

Step 1: The traveling wave solution is assumed as in the following equation,

$$w(x, t) = w(\varepsilon), \quad \varepsilon = k(x - ct), \quad (4)$$

where k is the wave number and c is the velocity of the waves .

Using Eq. (4), Eq. (3) is transformed into an ordinary differential equation:

$$T(w, w', w'', w''', \dots) = 0, \quad (5)$$

where T is a polynomial of w and its derivatives and superscripts indicate ordinary derivatives according to ε .

Step 2: Suppose that we imagine the solutions of Eq. (5) as Eq. (6):

$$w(\varepsilon) = \frac{\sum_{k=0}^n a_k Z^k(\varepsilon)}{\sum_{l=0}^m b_l Z^l(\varepsilon)} = \frac{G[Z(\varepsilon)]}{H[Z(\varepsilon)]}, \quad (6)$$

where Z is $\frac{1}{1 \pm e^\varepsilon}$. We must specify that Z is the solution to Eq. (7),

$$Z' = Z^2 - Z. \quad (7)$$

Using Eq. (6), the following derivatives are obtained,

$$w'(\varepsilon) = \frac{G'Z'H - GH'Z'}{H^2} = Z' \left[\frac{G'H - GH'}{H^2} \right] = (Z^2 - Z) \left[\frac{G'H - GH'}{H^2} \right], \quad (8)$$

$$w''(\varepsilon) = \frac{Z^2 - Z}{H^2} \left[\begin{aligned} &(2Z - 1)(G'H - GH') \\ &+ \frac{Z^2 - Z}{H} \left[H(G''H - GH'') - 2H'G'H + 2G(H')^2 \right] \end{aligned} \right], \quad (9)$$

where $G' = \frac{dG}{dZ}$, $H' = \frac{dH}{dZ}$, $G'' = \frac{d^2G}{dZ^2}$, $H'' = \frac{d^2H}{dZ^2}$.

Step 3: The solution of the nonlinear ordinary differential equation given by Eq. (5) is sought according to the GKM as follows:

$$w(\varepsilon) = \frac{a_0 + a_1Z + a_2Z^2 + \dots + a_nZ^n}{b_0 + b_1Z + b_2Z^2 + \dots + b_mZ^m}. \quad (10)$$

The homogeneous balance principle is used to find the values of m and n in Eq. (6). For this purpose, a balance is established between the highest order derivative and the highest order nonlinear term in Eq. (5).

Step 4: We put Eq. (6) into Eq. (5). Thus we get a polynomial $R(Z)$ of Z . Then equalizing the overall coefficients of $R(Z)$ to zero, we obtain an algebraic equation system. By solving the resulting system, we designate k, c and the variable coefficients of $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$. Finally, we can have the exact solutions of Eq. (5).

3. Results

3.1. Practice of GKM to the KMM Equation

To get some solutions of Eq. (1), we take into account the following equality:

$$w(x, t) = w(\varepsilon), v(x, t) = v(\varepsilon), \varepsilon = k(x - ct), \quad (k \neq 0, c \neq 0). \quad (11)$$

Putting Eq. (11) into Eq. (1), we find the following equalities

$$-ck^2w''(\varepsilon) - kwv'(\varepsilon) = 0, \quad (12)$$

$$kw(\varepsilon)w'(\varepsilon) - ck^2v''(\varepsilon) = 0. \quad (13)$$

Hence

$$v''(\varepsilon) = \frac{w(\varepsilon)w'(\varepsilon)}{ck}, \quad (14)$$

is found. By integrating Eq. (14) with respect to ε ,

$$v'(\varepsilon) = \frac{w^2(\varepsilon)}{2ck} + c_0, \quad (15)$$

is obtained. Here c_0 is the integration constant. If Eq. (15) is inserted into Eq. (12), ordinary differential equation can be expressed in the following form

$$2cc_0kw(\varepsilon) + w^3(\varepsilon) + 2c^2k^2w''(\varepsilon) = 0. \quad (16)$$

If the integration constant of Eq. (15) is taken as zero and by integrating Eq. (15) with respect to ε , we get

$$v(\varepsilon) = \frac{w^3(\varepsilon)}{6ck} + c_0w(\varepsilon). \quad (17)$$

If the balance principle is applied between $w^3(\varepsilon)$ and $w''(\varepsilon)$ in Eq. (16), we get

$$n - m + 2 = 3n - 3m \Rightarrow n = m + 1. \quad (18)$$

If we choose $m = 1$ and $n = 2$, we get

$$w(\varepsilon) = \frac{a_0 + a_1Z + a_2Z^2}{b_0 + b_1Z}, \quad (19)$$

$$w'(\varepsilon) = (Z^2 - Z) \left[\frac{(a_1 + 2a_2Z)(b_0 + b_1Z) - b_1(a_0 + a_1Z + a_2Z^2)}{(b_0 + b_1Z)^2} \right], \quad (20)$$

$$w''(\varepsilon) = \frac{Z^2 - Z}{(b_0 + b_1Z)^2} (2Z - 1) \left[(a_1 + 2a_2Z)(b_0 + b_1Z) - b_1(a_0 + a_1Z + a_2Z^2) \right] \\ + \frac{(Z^2 - Z)^2}{(b_0 + b_1Z)^3} \left[2a_2(b_0 + b_1Z)^2 - 2b_1(a_1 + 2a_2Z)(b_0 + b_1Z) + 2b_1^2(a_0 + a_1Z + a_2Z^2) \right]. \quad (21)$$

Case 1:

$$a_0 = -2ib_0c_0, a_1 = -\frac{a_2}{2} + 4ib_0c_0, a_2 = a_2, b_0 = b_0, b_1 = -\frac{ia_2}{4c_0}, k = \frac{2c_0}{c}. \quad (22)$$

By placing Eq. (22) in Eq. (19), we get the dark soliton solutions of Eq. (1)

$$w_1(x,t) = -2ic_0 \tanh\left[\frac{(x-ct)c_0}{c}\right], \quad (23)$$

$$v_1(x,t) = -2ic_0^2 \tanh\left[\frac{(x-ct)c_0}{c}\right] + \frac{4ic_0^3}{3ck} \tanh^3\left[\frac{(x-ct)c_0}{c}\right]. \quad (24)$$

2D and 3D graphs of the solutions (23) and (24) are demonstrated with contour simulations in Figure 1 and Figure 2.

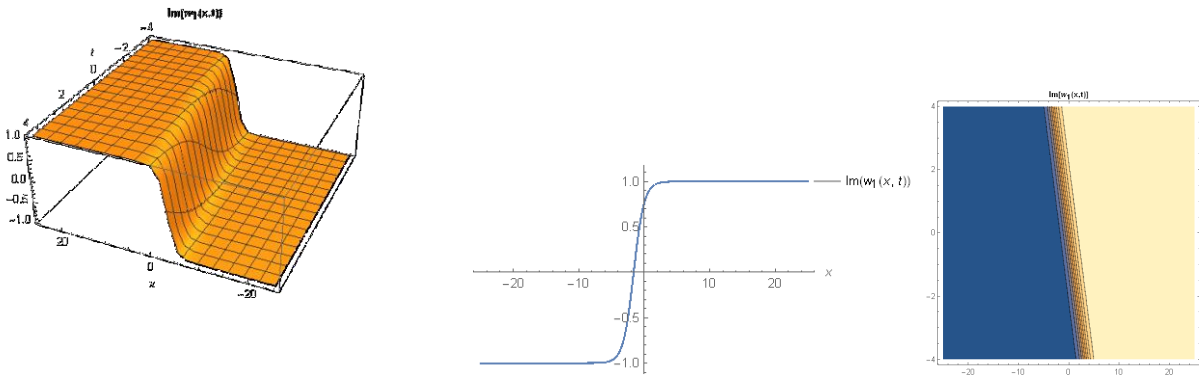


Figure 1. 3D, contour plots of solution (23) for $c = -0.8, c_0 = -0.5, -25 \leq x \leq 25$, values with $-4 \leq t \leq 4$ range and 2D plot of solution for $t = 2$ with these values.

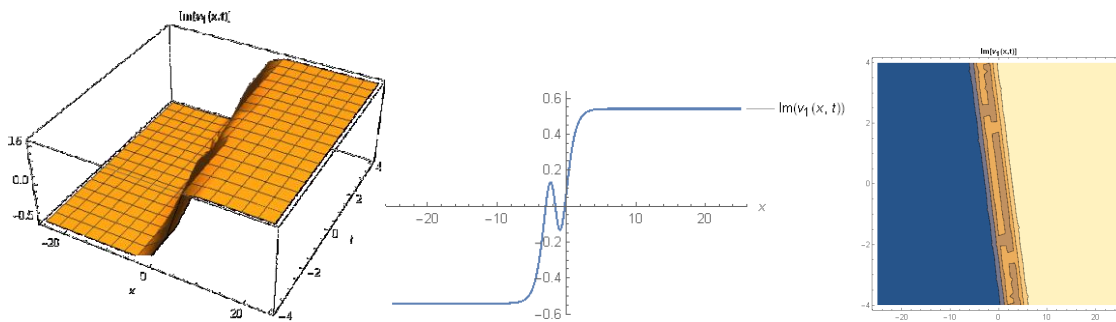


Figure 2. 3D, contour plots of solution (24) for $c = -0.8, c_0 = -0.5, k = 0.2, -25 \leq x \leq 25$ values with $-4 \leq t \leq 4$ range and 2D plot of solution for $t = 2$ with these values.

Case 2:

$$a_0 = \frac{1}{2}ib_1c_0, \quad a_1 = -ib_1c_0, \quad a_2 = ib_1c_0, \quad b_0 = -\frac{b_1}{2}, \quad b_1 = b_1, \quad k = \frac{c_0}{2c}. \quad (25)$$

By placing Eq. (25) in Eq. (19), we get the dark soliton solutions of Eq. (1)

$$w_2(x,t) = -ic_0 \coth \left[\frac{(x-ct)c_0}{2c} \right], \quad (26)$$

$$v_2(x,t) = -ic_0^2 \coth \left[\frac{(x-ct)c_0}{2c} \right] + \frac{ic_0^3}{6ck} \coth^3 \left[\frac{(x-ct)c_0}{2c} \right]. \quad (27)$$

2D and 3D graphs of the solutions (26) and (27) are demonstrated with contour simulations in Figure 3 and Figure 4.

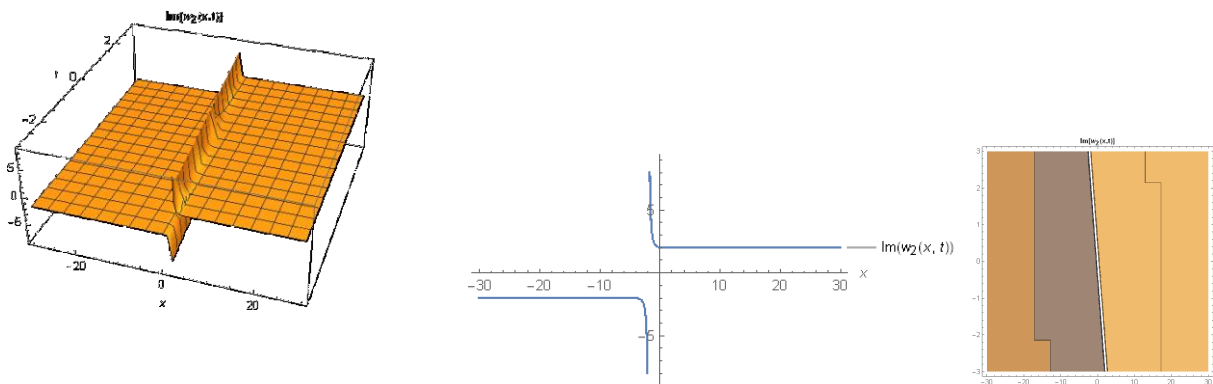


Figure 3. 3D, contour plots of solution (26) for $c = -0.75, c_0 = 2, -30 \leq x \leq 30$, values with $-3 \leq t \leq 3$ range and 2D plot of solution for $t = 2.5$ with these values.

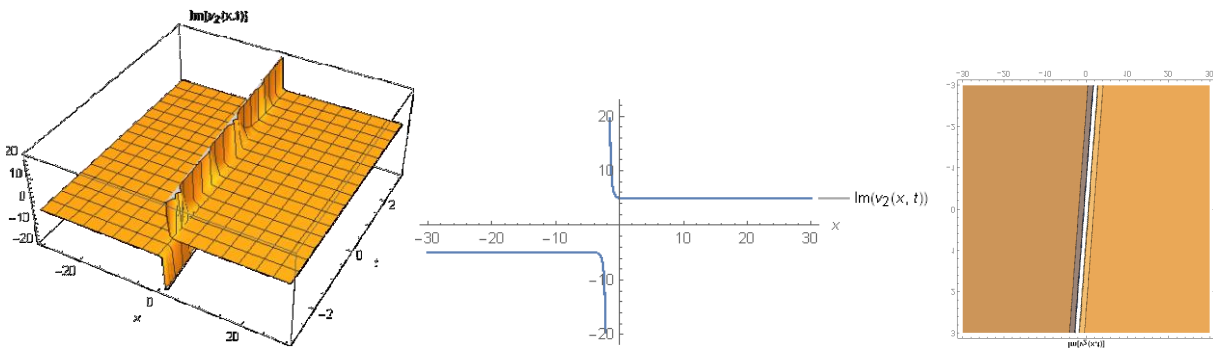


Figure 4. 3D, contour plots of solution (27) for $c = -0.75, c_0 = 2, k = 2, -30 \leq x \leq 30$, values with $-3 \leq t \leq 3$ range and 2D plot of solution for $t = 2.5$ with these values.

Case 3:

$$a_0 = 0, \quad a_1 = -a_2, \quad a_2 = a_2, \quad b_0 = \frac{ia_2}{4c_0}, \quad b_1 = -\frac{ia_2}{2c_0}, \quad k = -\frac{c_0}{c}. \quad (28)$$

By placing Eq. (28) in Eq. (19), we get the bright soliton solutions of Eq. (1)

$$w_3(x, t) = -2ic_0 \operatorname{csch} \left[\frac{(x-ct)c_0}{c} \right], \quad (29)$$

$$v_3(x, t) = -2ic_0^2 \operatorname{csch} \left[\frac{(x-ct)c_0}{c} \right] + \frac{4ic_0^3}{3ck} \operatorname{csch}^3 \left[\frac{(x-ct)c_0}{c} \right]. \quad (30)$$

2D and 3D graphs of the solutions (29) and (30) are demonstrated with contour simulations in Figure 5 and Figure 6.

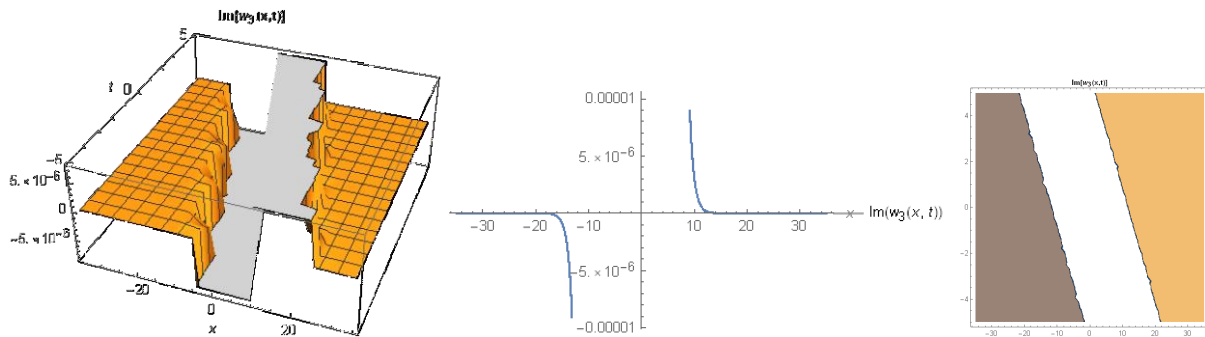


Figure 5. 3D, contour plots of solution (29) for $c = -2, c_0 = 2.5, -35 \leq x \leq 35$, values with $-5 \leq t \leq 5$ range and 2D plot of solution for $t = 1$ with these values.

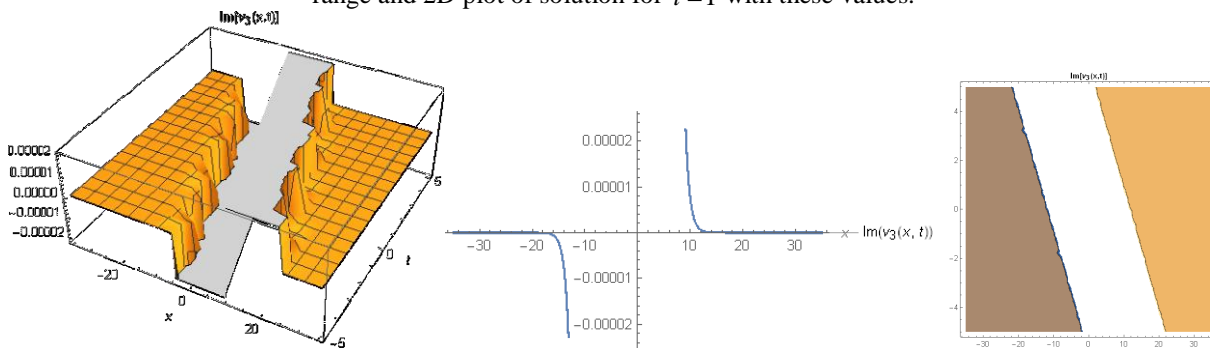


Figure 6. 3D, contour plots of solution (30) for $c = -2, c_0 = 2.5, k = 0.4, -35 \leq x \leq 35$, values with $-5 \leq t \leq 5$ range and 2D plot of solution for $t = 1$ with these values.

3.2. Practice of GKM to the Hyperelastic-Rod Wave Equation

To get some soliton solutions of Eq. (2), we take into account the following equality:

$$w(x, t) = w(\varepsilon), \quad \varepsilon = x - ct. \quad (31)$$

Putting Eq. (31) into Eq. (2), we find the following

$$-cw' + cw''' + \alpha w' + 2\beta ww' + 3\phi w^2 w' - \gamma w' w'' - ww''' = 0. \quad (32)$$

By integrating Eq. (32) with respect to ε and taking the integration constant zero, we get

$$(-c + \alpha)w + cw'' + \beta w^2 + \phi w^3 - \frac{\gamma - 1}{2}(w')^2 - ww'' = 0. \quad (33)$$

If the balance principle is applied between w^3 and ww'' in Eq. (33), we get

$$n - m + n - m + 2 = 3n - 3m \Rightarrow n = m + 2. \quad (34)$$

If we choose $m = 1$ and $n = 3$, we get

$$w(\varepsilon) = \frac{a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3}{b_0 + b_1 Z}, \quad (35)$$

$$w'(\varepsilon) = (Z^2 - Z) \left[\frac{(a_1 + 2a_2 Z + 3a_3 Z^2)(b_0 + b_1 Z) - b_1(a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3)}{(b_0 + b_1 Z)^2} \right], \quad (36)$$

$$w''(\varepsilon) = \frac{Z^2 - Z}{(b_0 + b_1 Z)^2} (2Z - 1) \left[(a_1 + 2a_2 Z + 3a_3 Z^2)(b_0 + b_1 Z) - b_1(a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3) \right] \\ + \frac{(Z^2 - Z)^2}{(b_0 + b_1 Z)^3} \left[(b_0 + b_1 Z)^2 (2a_2 + 6a_3 Z) - 2b_1(b_0 + b_1 Z)(a_1 + 2a_2 Z + 3a_3 Z^2) + 2b_1^2(a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3) \right]. \quad (37)$$

Case 1:

$$\begin{aligned}
a_0 = 0, a_1 = -\frac{2(2+\gamma)b_0}{\phi}, a_2 = \frac{2(2+\gamma)(b_0-b_1)}{\phi}, b_0 = b_0, b_1 = b_1, \\
a_3 = \frac{2(2+\gamma)b_1}{\phi}, \alpha = 0, c = -\frac{(-1+2\beta-\gamma)(2+\gamma)}{6\phi}.
\end{aligned}
\tag{38}$$

By placing Eq. (38) in Eq. (35), we get the hyperbolic solution of Eq. (2)

$$w_1(x, t) = -\frac{2+\gamma}{\phi + \phi \cosh \left[x + \frac{t(-1+2\beta-\gamma)(2+\gamma)}{6\phi} \right]}
\tag{39}$$

2D and 3D graphs of the solution (39) is demonstrated with contour simulations in Figure 7.

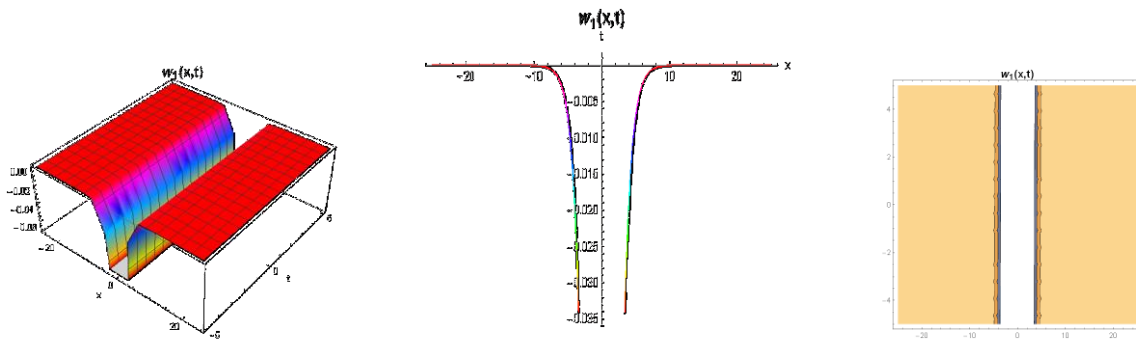


Figure 7. 3D, contour plots of solution (39) for $\gamma = 0.2, \phi = 4, \beta = 0.5, -25 \leq x \leq 25$, values with $-5 \leq t \leq 5$ range and 2D plot of solution for $t = 2$ with these values.

Case 2:

$$\begin{aligned}
a_0 = \frac{b_0(3(2-\beta+\gamma)\phi b_1 - \sqrt{3}\Lambda)}{12\phi^2 b_1}, \quad \Lambda = \sqrt{(4+3\beta^2 - \gamma^2 + 2\beta(2+\gamma))\phi^2 b_1^2}, \\
a_1 = -\frac{24(2+\gamma)\phi b_0 + 3(-2+\beta-\gamma)\phi b_1 + \sqrt{3}\sqrt{(4+\beta(4+3\beta) + 2\beta\gamma - \gamma^2)\phi^2 b_1^2}}{12\phi^2}, \\
a_2 = \frac{2(2+\gamma)(b_0-b_1)}{\phi}, a_3 = \frac{2(2+\gamma)b_1}{\phi}, b_0 = b_0, b_1 = b_1, \\
\alpha = \frac{3(\beta^2 - (2+\gamma)^2 - 2\beta(3+\gamma))\phi b_1 + \sqrt{3}(4+\beta+3\gamma)\Lambda}{24\phi^2 b_1}, \\
c = \frac{-((1+\gamma)(2+\gamma) + \beta(5+\gamma))\phi b_1 + \sqrt{3}(1+\gamma)\Lambda}{12\phi^2 b_1}.
\end{aligned}
\tag{40}$$

By placing Eq. (40) in Eq. (35), we get the hyperbolic solution of Eq. (2)

$$w_2(x, t) = -\frac{1}{24\phi^2} \left(\frac{6\phi(6 + \beta + 3\gamma + (-2 + \beta - \gamma)\cosh[x - ct])}{1 + \cosh[x - ct]} + \chi \right), \quad (41)$$

$$\text{where } \chi = \frac{2\sqrt{3}\Lambda}{b_1}, c = \frac{-((1+\gamma)(2+\gamma) - \beta(5+\gamma))\phi b_1 + \sqrt{3}(1+\gamma)\Lambda}{12\phi^2 b_1}.$$

2D and 3D graphs of the solution (41) is demonstrated in with contour simulations in Figure 8.

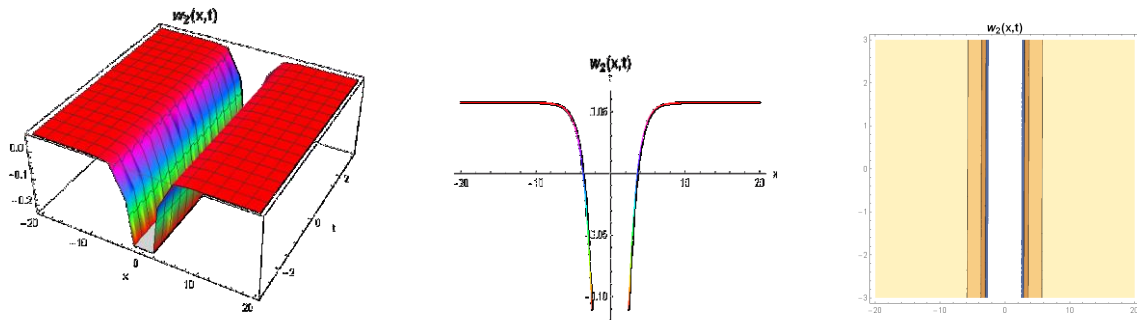


Figure 8. 3D, contour plots of solution (41) for $\gamma = 0.3, \phi = 2, \beta = 0.4, b_1 = 2, -20 \leq x \leq 20$, values with $-3 \leq t \leq 3$ range and 2D plot of solution for $t = 1$ with these values.

Case 3:

$$a_0 = 0, a_1 = a_1, a_2 = a_2, a_3 = -a_2, b_0 = 0, b_1 = -\frac{\phi a_2}{2(2 + \gamma)},$$

$$\alpha = \frac{2(2 + \gamma)a_1(12(2 + \gamma)a_1^2 + 6(1 + \gamma)a_1a_2 + \gamma a_2^2)}{\phi a_2^2(6a_1 + a_2)}, \quad (42)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(1 + \gamma + \frac{8(2 + \gamma)a_1}{a_2} - \frac{2(-1 + \gamma)a_1}{6a_1 + a_2} \right), c = \frac{(-2 + \gamma + \gamma^2)a_1(4a_1 + a_2)}{\phi a_2(6a_1 + a_2)}.$$

By placing Eq. (42) in Eq. (35), we get the bright soliton solution of Eq. (2)

$$w_3(x, t) = \Omega \left[4a_1 + a_2 \operatorname{sech}^2 \left[\frac{1}{2} \left(x - \frac{t(-2 + \gamma + \gamma^2)a_1(4a_1 + a_2)}{\phi a_2(6a_1 + a_2)} \right) \right] \right], \quad (43)$$

where $\Omega = -\frac{(2+\gamma)}{2\phi a_2}$.

2D and 3D graphs of the solution (43) is demonstrated with contour simulations in Figure 9.

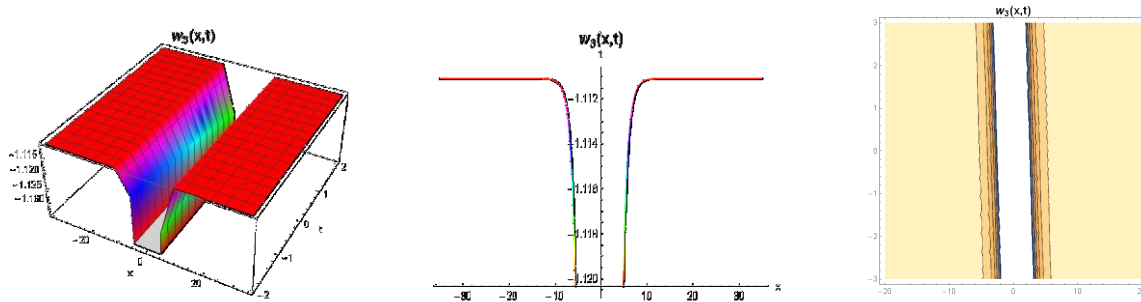


Figure 9. 3D, contour plots of solution (43) for $\gamma = 0.5, \phi = 3, a_1 = 2, a_2 = 3, -35 \leq x \leq 35$, values with $-2 \leq t \leq 2$ range and 2D plot of solution for $t = 1.5$ with these values.

4. Conclusion

In this study, GKM was applied to acquire solutions of Kraenkel-Manna-Merle (KMM) system and generalized hyperelastic-rod wave equation. Thus, solutions of KMM system and generalized hyperelastic-rod wave equation were procured such as dark soliton, bright soliton and hyperbolic solutions. In addition, for some certain values, 3D and 2D graphical representations of these solutions were given with contour simulations with the help of Wolfram Mathematica 12. As far as we know, GKM has not been applied to KMM system and generalized hyperelastic-rod wave equation before. In the light of the results, we deduce that GKM is an effective method in NLEEs calculation.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author’s Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

Ananna SN., An T., Asaduzzaman M., Miah MM. Solitary wave structures of a family of 3D fractional WBBM equation via the tanh-coth approach. *Partial Differential Equations in Applied Mathematics* 2022; 5: 1-6.

- Akcagil S., Aydemir T., Gozukizil OF. Exact travelling wave solutions of nonlinear pseudoparabolic equations by using the G'/G Expansion Method. *New Trends in Mathematical Sciences* 2016; 4(4): 51-66.
- Barman HK., Islam ME., Akbar MA. A study on the compatibility of the generalized Kudryashov method to determine wave solutions. *Propulsion and Power Research* 2021; 10(1): 95-105.
- Bayrakci U., Tuluce Demiray S., Yildirim V. New soliton solutions arising in some NLEEs. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology* 2022; 12(1): 51-59.
- Bendahmane M., Coclite GM., Karlsen KH. H1-perturbations of smooth solutions for a weakly dissipative hyperelastic-rod wave equation. *Mediterranean Journal of Mathematics* 2006; 3(3): 419-432.
- Biswas A., Yıldırım Y., Yaşar E., Alqahtani RT. Optical solitons for Lakshmanan–Porsezian–Daniel model with dual-dispersion by trial equation method. *Optik* 2018; 168: 432-439.
- Coclite GM., Holden H., Karlsen KH. Global weak solutions to a generalized hyperelastic-rod wave equation. *SIAM Journal on Mathematical Analysis* 2005; 37(4): 1044-1069.
- Duarte LGS., da Mota LACP. An efficient method for computing Liouvillian first integrals of planar polynomial vector fields. *Journal of Differential Equations* 2021; 300: 356-385.
- Eslami M., Mirzazadeh M. Exact solutions of modified Zakharov–Kuznetsov equation by the homogeneous balance method. *Ain Shams Engineering Journal* 2014; 5(1): 221-225.
- Gözükızıl ÖF., Akçağıl Ş. The tanh-coth method for some nonlinear pseudoparabolic equations with exact solutions. *Advances in Difference Equations* 2013; 1: 1-18.
- Gurefe Y. The generalized Kudryashov method for the nonlinear fractional partial differential equations with the beta-derivative. *Revista Mexicana de Física* 2020; 66(6): 771-781.
- Günay B., Kuo CK., Ma WX. An application of the exponential rational function method to exact solutions to the Drinfeld–Sokolov system. *Results in Physics*, 2021; 29: 1-8.
- Holden H., Raynaud X. Global conservative solutions of the generalized hyperelastic-rod wave equation. *Journal of Differential Equations* 2007; 233(2): 448-484.
- Jin XW., Lin J. Rogue wave, interaction solutions to the KMM system. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2020; 502: 1-9.
- Kara S., Ünsal Ö. Analytical solutions to new forms of two nonlinear partial differential equations via two variable expansion method. *Partial Differential Equations in Applied Mathematics* 2022; 5: 1-7.
- Kraenkel RA., Manna MA., Merle V. Nonlinear short-wave propagation in ferrites. *Physical Review E*, 2000; 61(1): 976-979.
- Kuetche VK., Nguerpjou FT., Kofane T. C. Engineering magnetic polariton system with distributed coefficients: Applications to soliton management. *Chaos, Solitons Fractals* 2014; 66: 17-30.

- Li BQ., Ma YL. Rich soliton structures for the Kraenkel-Manna-Merle (KMM) system in ferromagnetic materials. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2018; 31(6): 1773-1778.
- Li BQ., Ma YL. Loop-like periodic waves and solitons to the Kraenkel–Manna–Merle system in ferrites. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 2018; 32(10): 1275-1286.
- Nguepjour FT., Kuetche VK., Kofane TC. Soliton interactions between multivalued localized waveguide channels within ferrites. *Physical Review E* 2014; 89(6): 1-14.
- Si HL., Li BQ. Two types of soliton twining behaviors for the Kraenkel–Manna–Merle system in saturated ferromagnetic materials. *Optik* 2018; 166: 49-55.
- Tchokouansi HT., Kuetche VK., Kofane TC. On the propagation of solitons in ferrites: The inverse scattering approach. *Chaos, Solitons Fractals* 2016; 86: 64-74.
- Tuluçe Demiray S., Bayrakci U. Construction of Soliton Solutions for Chaffee-Infante Equation. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering* 2021a; 21(5): 1046-1051.
- Tuluçe Demiray S., Bayrakci U. Soliton solutions of generalized third-order nonlinear Schrödinger equation by using GKM. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2021b; 11(2): 1481-1488.
- Tuluçe Demiray S., Bayrakci U. Soliton solutions for space-time fractional Heisenberg ferromagnetic spin chain equation by generalized Kudryashov method and modified $\exp(-\Omega(\eta))$ -expansion function method. *Revista Mexicana de Física* 2021c; 67(3): 393-402.
- Tuluçe Demiray S., Bayrakci U., Yildirim V. Soliton solutions for perturbed Radhakrishnan-Kundu-Lakshmanan equation. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology* 2022; 24(2): 526-536.
- Younas U., Sulaiman TA., Yusuf A., Bilal M., Younis M., Rehman SU. New solitons and other solutions in saturated ferromagnetic materials modeled by Kraenkel–Manna–Merle system. *Indian Journal of Physics* 2022; 96(1): 181-191.

Kısa Dönemli Değen Çift Yıldızın İlk Fotometrik Analizi: KIC3848042

Muhittin ŞAHAN^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

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

*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.01.2022

Kabul tarihi:02.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

W UMa türü çift yıldız

Işık eğrisi analizi

Değen çift sistemler

KIC3848042

Bu çalışma, Kepler'in görüş alanında W UMa türü değen çift sistem olan 0.4114527 gün yörünge periyotlu KIC3848042'nin ilk fotometrik analizini vermektedir. Fotometrik veriler Wilson-Devinney tabanlı PHOEBE kodu kullanılarak modellenmiştir. Işık eğrisi modellemesinin sonuçlarından, sistemin en iyi çözümü için kütle oranı (q) 2.12, yörünge eğikliği 34.0 ± 0.1 , birinci (baş) bileşenin sıcaklığı 6440 K (daha düşük kütleli) ve yüzey potansiyelleri ($\Omega_1 = \Omega_2$) 2.80 ± 0.01 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, KIC3848042'nin, % 8.3'lik doldurma oranına sahip değen bir çift yıldız sistemi olduğunu göstermektedir. KIC3848042'nin birinci ve ikinci (yoldaş) bileşenleri için kütle, yarıçap ve ışınım güçleri sırasıyla $M_1 = 0.77 \pm 0.24 M_{\odot}$, $M_2 = 1.64 \pm 0.85 M_{\odot}$, $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$, $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$ ve $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$, $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, mutlak ve bolometrik parlaklıkları sırasıyla $M_{V,1} = 4^m.71 \pm 0.43$, $M_{V,2} = 3^m.99 \pm 0.36$ ve $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$, $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$ olarak hesaplanmıştır. Sisteme olan mesafe 1.94 ± 0.33 kpc olarak bulunmuştur. Bileşenlerin tayf türleri yaklaşık olarak F7V olduğu görülmektedir. Kütle oranı, periyot, tayf türü ve birinci bileşenin sıcaklığı ($T_1 > T_2$) göz önüne alındığında, KIC3848042 ana kolda W-alt türü W UMa örten çift yıldız sistemidir.

The First Photometric Analysis of Short-Period Contact Binary Star: KIC3848042

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 27.01.2022

Accepted: 02.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

UMa type binary stars

Light curve analysis

Contact binary systems

KIC3848042

This study gives the first photometric analysis of W UMa type eclipsing contact binary KIC3848042 with an orbital period of 0.4114527 days in the Kepler field of view. The photometric data were modeled using the PHOEBE code based on the Wilson-Devinney code. According to the results obtained from light-curve modeling, it was found that the best solution for system was to be a mass ratio (q) of 2.12, orbital inclination of 34.0 ± 0.1 , temperature of the primary component of 6440 K (less massive), and surface potentials ($\Omega_1 = \Omega_2$) of 2.80 ± 0.01 . The results show that KIC3848042 is a contact binary system with a fill-out factor of 8.3 %. The masses, radii and luminosities were calculated to be $M_1 = 0.77 \pm 0.24 M_{\odot}$, $M_2 = 1.64 \pm 0.85 M_{\odot}$, $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$, $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$ and $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$, $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$ for the primary and secondary components of the KIC3848042, respectively. Moreover, their absolute and bolometric magnitudes were calculated to be $M_{V,1} = 4^m.71 \pm 0.43$, $M_{V,2} = 3^m.99 \pm 0.36$ and $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$, $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$, respectively. Distance to the binary system was found to be 1.94 ± 0.33 kpc. The spectral type of the components seems to be approximately F7V. Considering the mass ratio, period, spectral type, and temperature of the first component ($T_1 > T_2$), KIC3848042 is a W-subtype W UMa eclipsing binary system in the main sequence.

1. Giriş

W UMa türü (EW) değişen yıldızlar, yörünge dönemleri kısa ($0.2 < P < 0.8$ gün) olan değen ya da aşırı değen çift yıldız sistemleridir. Bileşenlerinin her biri çekirdeklerinde hidrojen yakan ve tayf türleri genellikle A ile K aralığında bulunan birer ana kol yıldızdırlar. Bu sistemlerin kütle oranları ($q = M_2/M_1$) düşük ($0.08 < q < 0.8$) ve bileşen yıldızlar ortak bir zarf içerisinde bulunduğundan neredeyse eşit derinlikli iki minimumları olan ve süreklilik gösteren ışık eğrileri vardır (Lucy, 1968; Rucinski, 1986; Skelton ve Smith, 2009; Joshi ve ark., 2016). Minimumlarının yaklaşık eşit derinlikte olması bileşenlerin yaklaşık olarak eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarını göstermektedir.

EW türü sistemlerde bileşen yıldızlar, birbirlerine uyguladıkları karşılıklı tedirginlik sonucu küresellikleri bozulmuş elipsoid bir şekle sahiptirler ve bileşen yıldızlar Roche loblarını doldurdıkları için ortak bir zarf içerisinde bulunurlar (Lucy, 1968). Işık eğrilerinde minimum derinliklerinin birbirine yakın olması, örtme ve örtülme sırasında neredeyse eşit miktarda ışınım gücü kaybı nedeniyle gerçekleşir. Bu evrelerde renk değişimlerinin de benzer şekilde gerçekleşiyor olması bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirlerine yakın olmasını gerektirmektedir. Kütle ve yarıçapları birbirinden farklı olmasına rağmen sıcaklıklarının birbirine yakın olması, ancak sistemi oluşturan bileşen yıldızların ortak bir zarf içerisinde bulunması durumunda mümkündür. EW türü sistemlerin yörünge dönemlerinin çok kısa olmasından dolayı, araştırmacılar tarafından fotometrik olarak gözlemlerinin en çok yapıldığı sistemlerdir.

Binnendijk (1970), W UMa türü çift yıldızlarının özelliklerini incelemiş ve bu tür sistemleri W-alt türü ve A-alt türü olmak üzere iki gruba ayırmıştır. A-türü sistemlerde büyük kütleli bileşen daha yüksek etkin sıcaklığa sahipken, W-türü sistemlerde küçük kütleli bileşen daha yüksek etkin sıcaklığa sahiptir (Binnendijk 1970; Lucy ve Wilson, 1979; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009). Bunun yanı sıra sınıflandırmanın yapıldığı bazı durumlara ise şu şekilde özetlenebilir. Genellikle, erken tayf (A-F) türlerinden olan A-alt türü çift yıldızların başlangıçta kütleleri $1,8 \pm 0.1 M_{\odot}$ 'den daha büyük iken, geç tayf (G-K) türünden olan W-alt türü çift yıldızları bundan daha düşük kütleyle sahiptirler (Csizmadia ve Klagiyevik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009; Yıldız ve Doğan, 2013). Kütle-Yarıçap ve Kütle-Işınım gücü diyagramlarına dayanılarak yapılan bazı çalışmalarda, A-alt türü çift yıldızların W-alt türlerine göre daha fazla evrimleştiği öne sürülmesine rağmen (Hilditch ve ark., 1988; Hilditch, 1989), Gazeas ve Niarchos (2006) toplam kütleleri ve toplam açısal momentumları daha büyük olan A-türü sistemlerin W-türlerinden daha fazla evrimleşemeyeceğini göstermişlerdir. W-alt türleri anakol kol yıldızları iken A-alt türleri ise genellikle anakoldan ayrılmak üzeredirler. A-alt türleri genellikle daha düşük kütle oranlarına ($q = M_2/M_1 < 0.3$) sahipken, W-alt türleri ise genellikle daha yüksek kütle oranına ($q > 0.3$) sahiptirler (Csizmadia ve Klagiyevik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009). A-alt türü çift yıldızların bir birlerine değme (taşma) değme dereceleri (f) W-alt

türlerinininkine göre daha yüksektir (Lucy ve Wilson, 1979; Wilson, 1979; Skelton ve Smith, 2009). Evre-renk ilişkisine göre daha mavi renkte olan A-alt türü çiftler genellikle daha uzun yörünge dönemlerine ($0.4 < P < 0.8$ gün) sahipken, daha kırmızı olan W-türü çift yıldızlar ise daha kısa yörünge dönemlerine ($0.22 < P < 0.4$ gün) sahiptirler (Wadhwa, 2005; Gazeas ve Stepien, 2008; Rucinski, 1986; Skelton ve Smith, 2009).

Bu çalışmada, Kepler kataloğundan seçilen W UMA türü aşırı değen KIC3848042 çift yıldız sisteminin fotometrik analizi ilk kez yapılmış ve sisteme ilişkin mutlak parametreler elde edilmiştir. Çalışmaya ilişkin ayrıntılar ve ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

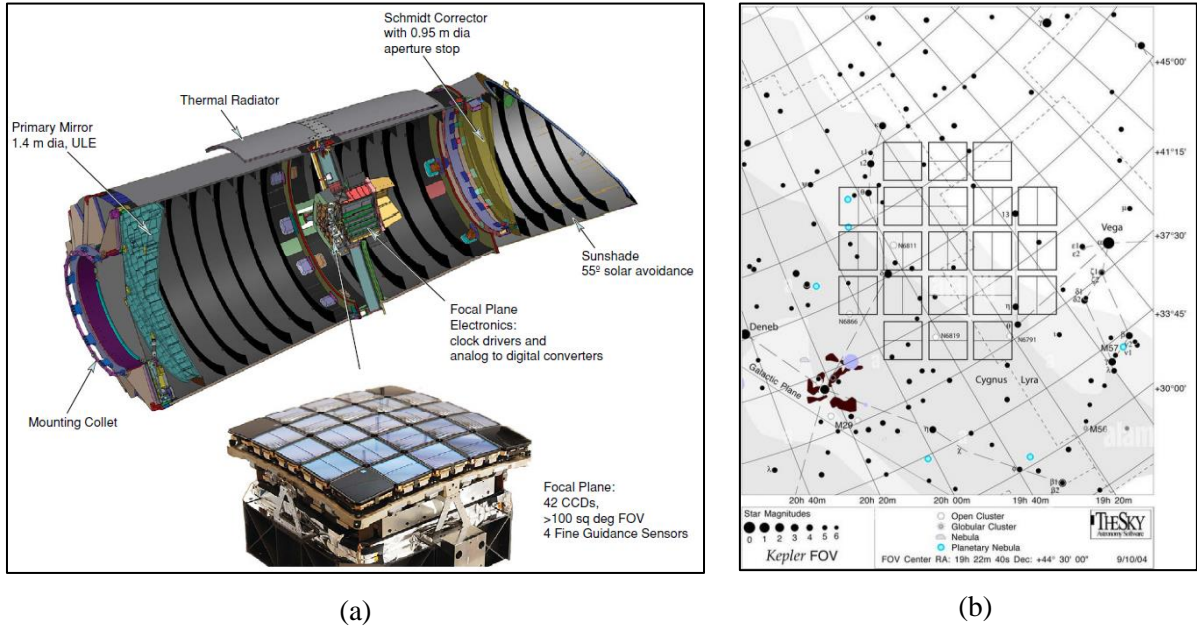
2. Materyal ve Metot

Kepler uzay teleskopu (Şekil 1a), Samanyolu Gökadamızın Orion kolunda yer alan Cygnus, Draco ve Lyra takımyıldızlarının bulunduğu bölgelerde (Şekil 1b) güneş benzeri yıldızların çevrelerindeki dünya benzeri gezegenlerin varlığını araştırmak ve gezegenlerin özelliklerini belirlemek amacıyla geçiş fotometrisi gözlemleri yapabilecek şekilde NASA tarafından tasarlanmış ve Mart 2009 uzaya fırlatılmış ve Mayıs 2013'e kadar ~200.000'den fazla yıldızın fotometrik gözlemini yapmıştır. 95 cm çaplı açıklığına ve 105 derece^2 ($\sim 12^\circ$ çaplı) görüş alanına (Field of View: FOV) sahip olan Schmidt türü Kepler teleskopunun odak düzlemi üzerinde her birinin genişliği 50x25mm olan 2200x1024 piksel boyutlu 42 tane CCD kamerası bulunmaktadır¹. CCD'lerin üzerindeki piksellerin satürasyona uğramaması için pikseller üzerindeki veriler her üç saniyede bir okunur ve veriler 30 dakikalık poz süresince alınır (Abdul-Masih ve ark., 2016; Caldwell ve ark., 2010; Koch ve ark., 2010; Kolenberg ve ark., 2010; Matijevic ve ark., 2012).

Kepler uydusunun uzayda gördüğü görüş alanının yerini gösteren harita ($\alpha_{2000} = 19^{\text{sa}} 22^{\text{dk}} 40^{\text{sn}}$, $\delta_{2000} = +44^\circ 30' 00''$) Şekil 1b'de verilmiştir. Harita üzerindeki dikdörtgenler, uydunun 42 tane CCD'nin düzenini göstermektedir (Matijevic ve ark., 2012; Thompson ve ark., 2016; van Cleve ve ark., 2016). Uydu, 2009-2013 yılları arasında dünya benzeri öte-gezegenlerin varlığını araştırırken, aynı zamanda, benzer yöntemi kullanarak bakış doğrultumuzda bir yıldız diğerinin önünden geçtiğinde ışık eğrilerinde periyodik olarak örten değişen sistemleri de tespit etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle, öte-gezegen arayışında önemli veriler elde etmenin yanı sıra, Kepler'in önemli bir misyonu da, görüş alanında bulunan yaklaşık 2165 örten değişen sistemlerin de gözlemlerini yapmıştır (Matijevic ve ark., 2012; Slawson ve ark., 2011).

Kepler uydusunun 512 hedef için kısa poz (~ 1 dk) (Short Cadence: SC) ve 170.000 hedef uzun poz (~ 30 dk) (Long Cadence: LC) olmak üzere iki adet gözlem seçeni bulunmaktadır. Teleskopun gözlem süreleri üçer aylık dönemler halinde Quarter (Q) adı verilen gözlem zamanlarından oluşmaktadır. Tüm bilimsel verileri 6.02 saniyelik bir integrasyon süresi ile toplanmıştır (Caldwell ve ark., 2010; Kolenberg ve ark., 2010).

¹ <http://www.nasa.gov/missionpages/kepler/spacecraft/index.html>



Şekil 1. a) Kepler Uzay Teleskobu (Koch ve ark., 2010), b) Kepler uzay teleskobunun gördüğü gökyüzüne ilişkin yıldız haritası (Thompson ve ark., 2016).

Bu çalışmada, Kepler uydusunun görüş alanında (FOV) olan ve Kepler Kataloğunda (Kepler Eclipsing Binary Catalog²) bulunan KIC3848042 değen çift yıldız sisteminin fotometrik analizlerini yapmak ve mutlak parametrelerini belirlemek amacıyla Kepler Örtün Çift Yıldız Kataloğundan ilgili sisteme ilişkin ışık eğrisi verileri alınmıştır (Matijevic ve ark., 2012; Prsa ve ark., 2011; Slawson ve ark., 2011). Kepler Kataloğunda belirli parametreleri alınan ve Tablo 1’de Kepler Kataloğunda KIC3848042 (2Mass ID J19231294+3857107; $\alpha_{2000}=19^{\text{sa}}23^{\text{dk}}12^{\text{sn}}.3941$, $\delta_{2000}=+38^{\circ}57' 10''.673$) sistemi için verilmiş parametreler sunulmuştur. KIC3848042 sistemi kısa dönemli ($P = 0.4114527$ gün), W UMa türü fotometrik ışık eğrisine sahip bir çift yıldız sistemidir.

KIC3848042 çift sistemi 1-17 arasındaki çeyreklerde (Quarter: Q_i) ve uzun poz süre (Long Cadence: LC) modunda 30 dakikalık etkili integrasyon süreleriyle gözlenmiştir (Kolenberg ve ark., 2010). Sistemin 1. çeyrek gözlemlerine 13.05.2009 (JD 2454964.51098) tarihidен başlanmış ve 17. çeyrek gözlemleri 11.05.2013 (2456392.22690JD) tarihine kadar yaklaşık dört yıl (1459 gün) boyunca gözlenmiştir. Tablo 1’de verilen morfoloji ifadesi, farklı EB sınıflarını sınıflandırmak için kullanılan bir sınıflandırma (-1.00 ile 1.00 arasında değişen) parametresidir³. W-UMa türü çift yıldızların morfolojisi 1.00’a yakın değerler almaktadır.

KIC3848042 çift yıldız sisteminin Kepler Veri Tabanı’ndan alınan Q1-Q17 arasındaki farklı quarter’larda (çeyreklerde) uzun poz süreli (Long Cadence: LC) akı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de, zamana göre normalize edilmiş ham (a) ve değişimlerden arındırılmış (detrended) (b) evreye göre çözümleme (deconvolved) sonucu normalize edilmiş fotometrik ışık eğrisi de (c) ile (d)

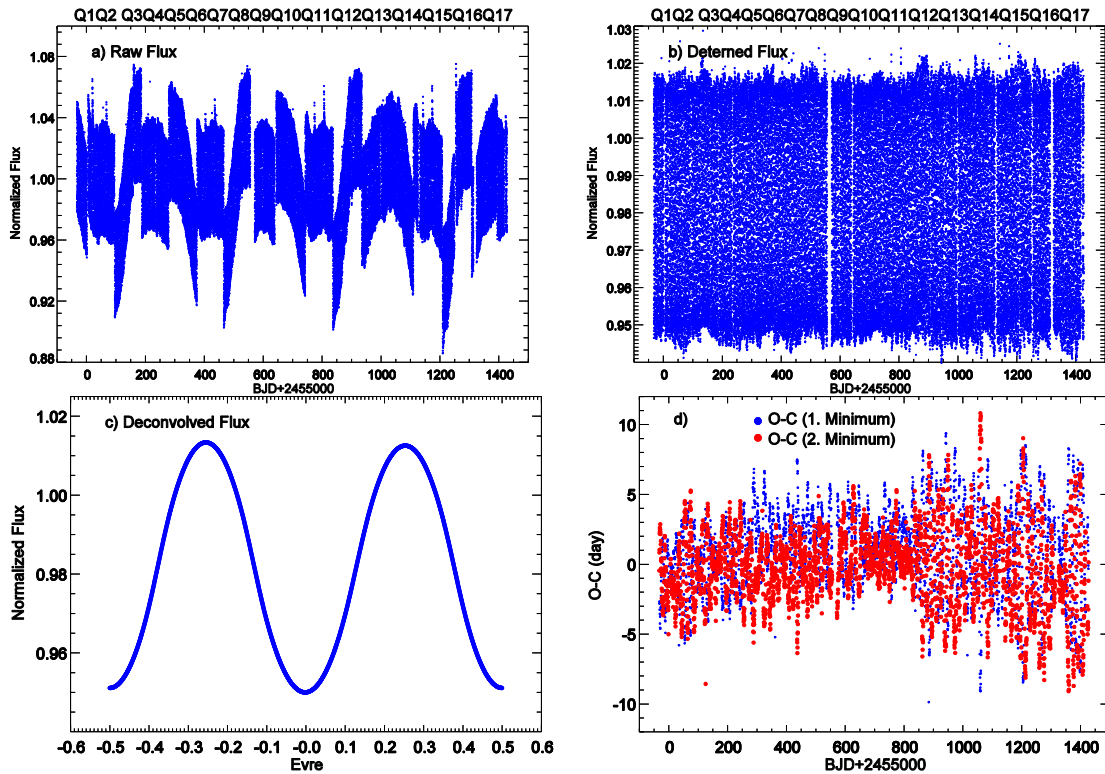
² <http://keplerebs.villanova.edu/>

³ https://archive.stsci.edu/kepler/eclipsing_binaries.html

akı değerlerinin yanı sıra birinci (mavi) ve ikinci (kırmızı) minimumlarının O-C eğrilerinin zamana göre değişimleri verilmiştir.

Tablo 1. KIC3848042 sisteminin Kepler kataloğundan derlenen bazı parametreleri⁴.

Parametre	Değerler
Kepler ID	3848042
2Mass ID	J19231294+3857107
α (J2000) (sa dk sn)	19 23 12,941
δ (J2000) ($^{\circ}$ ' ")	+38 57 10,73
Periyot (P) (gün)	0.4114527 \pm 0.0000003
BJD ₀	2454964.758310 \pm 0.023564
K _p Kepler Parlaklığı (^m)	14,965
Gözlem Başlama Zamanı (JD)	2454964.51098
Gözlem Bitiş Zamanı (JD)	2456392.22690
Log (g) (cms ⁻²)	4,746
[Fe/H] metal bolluğu (dex)	0,098
E(B-V) (^m)	0,143
Morfoloji	0,99



Şekil 2. KIC3848042 çift yıldız sisteminin Kepler veri arşivinden elde edilen a) zamana karşılık-ham akı değerleri, b) zamana karşılık-değişimlerden arındırılmış (detrended) akı değerleri, c) evreye karşılık çözümleme (deconvolved) akı değerleri d) zamana karşılık-O-C değişimi⁵.

⁴ https://archive.stsci.edu/kepler/data_search/search.php?action=Search&ktc_kepler_id=3848042

Bu çalışma kapsamında çalışılan KIC3848042 çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizlerini yapmak ve yörünge ve fiziksel parametrelerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan Wilson–Devinney (WD) programı üzerine inşa edilmiş olan (Wilson ve Devinney, 1971; Wilson, 1990, 2008) PHOEBE (Physics of Eclipsing Binaries) grafiksel ara yüz yazılım paketi kullanılmıştır (Prsa ve Zwitter, 2005; Prsa, 2011; Prsa ve ark., 2011). KIC3848042 aşırı değen EW türü çift yıldız sistemi olduğu için astrofiziksel olarak kabul edilebilir uygun bir çözüm elde edilebilmek için Wilson-Devinney kodunun Model 3 (overcontact binary not in thermal contact) seçeneğini kullanılmıştır. PHOEBE’de elde edilen fotometrik parametreler (yörünge parametreleri) BM3 (Binary Maker 3.0) programında (Bradstreet ve Steelman, 2004) kullanılarak KIC3848042 çift yıldız sisteminin birinci (baş) ve ikinci (yoldaş) bileşenlerin değişik evrelerdeki üç boyutlu ve Roche lobu geometrileri elde edilmiş ve W UMA sistemin değen/aşırı değen olup olmadığına bakılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

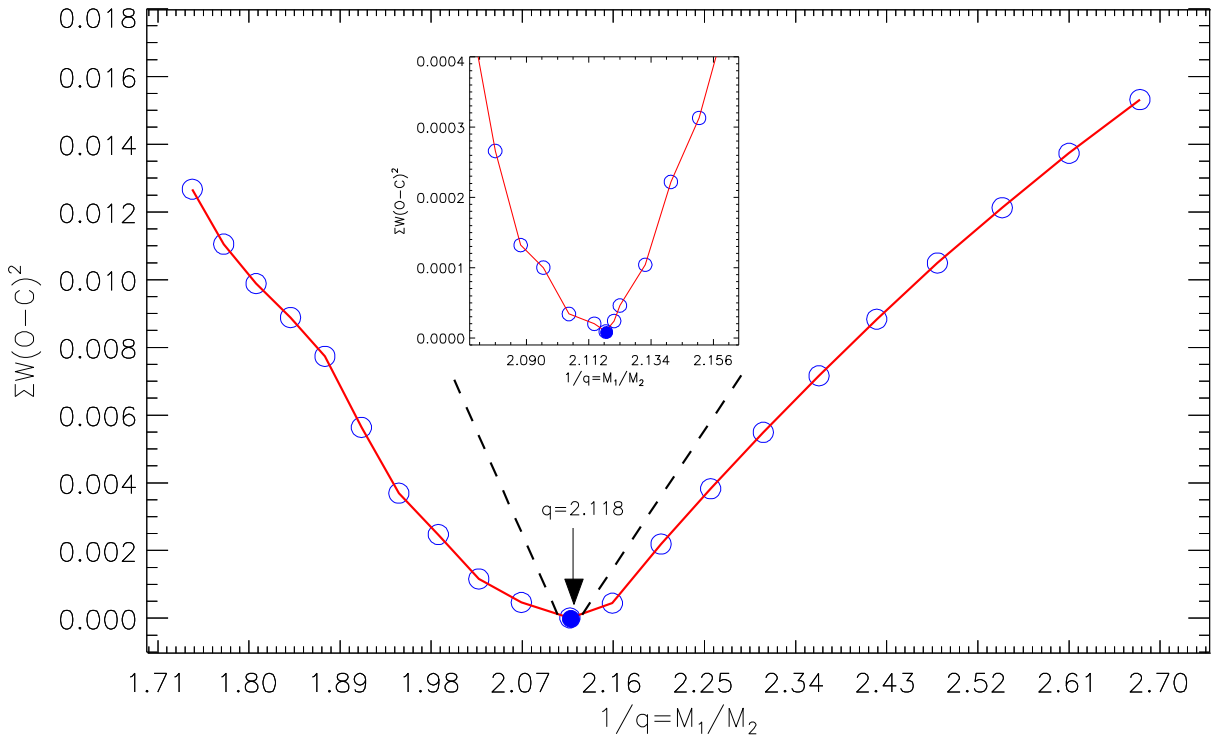
KIC3848042 çift yıldız sisteminin temel yörünge parametrelerini belirlemek için yukarıda belirtildiği gibi PHOEBE programı (Prsa, 2011; Prsa ve Zwitter, 2005; Prsa ve ark., 2011) kullanılmıştır. Sistem tayfsal olarak hiç gözlemlenmediği göz önüne alındığında, ışık eğrisi analizlerini yapmak için ilk adım olarak, fotometrik kütle oranını ilk tahminlerini yapmak için q –taraması yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, PHOEBE’de sistemin yörünge parametrelerinin ilk tahminini belirlemek amacıyla fark kareleri toplamı yöntemi ($\Sigma(O-C)^2$) kullanılarak ölçülen ile hesaplanan değerler arasındaki en düşük değere ulaşıncaya kadar q -taraması gerçekleştirilmiştir. PHOEBE programı kullanılarak sistem için elde edilen ışık eğrisi üzerine en uygun teorik fit uydurulmaya çalışılmıştır. Fit uydurma işlemi W-D programında üretilen fark kareleri toplamının değerleri en küçük oluncaya kadar analiz yapılmıştır. Tarama için alınan serbest ve sabit parametreler belirlenip, taramada her bir yörünge eğim açısına ($i=28-30-32-34-36-38-40$) karşılık kütle oranı $1.745 \leq q \leq 2.685$ ($0.372 \leq 1/q \leq 0.572$) arasında 0.01 adım arttırarak q değerinin, gözlenen ve hesaplanan (sentetik/kuramsal) ışık eğrileri (yani, $\Sigma(O-C)^2$) arasındaki artıklarda bir minimum elde edilene kadar tarama yapılmıştır. Buna göre en uygun yörünge eğim açısının $i = 34^\circ.0$ olduğuna karar verilmiştir.

Bu işlem sırasında ağır kütleli ikinci bileşenin yüzey sıcaklığı (T_2) ve düşük kütleli baş bileşenin ışınım gücü (L_1) sabit tutulurken, q kütle oranı (M_2/M_1), i yörünge eğim açısı, birinci bileşenin T_1 ortalama sıcaklığı ve yoldaş bileşenin ışınım gücü (L_2) serbest parametreler olarak alınmıştır. İkinci yıldızın etkin sıcaklığı, (T_{eff}) $T_2 = 6398 K$ (Tablo 1) sabit tutulmuştur. Bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirlerine yakın olduğunu dikkate alarak çekim kararına katsayıları ($g_1=g_2$) ve bolometrik

lbedo değerleri ($A_1=A_2$) sırasıyla 0.50 (Rucinski, 1969) 0.32 (Lucy, 1967)) olarak alınmıştır. Ayrıca, birinci ve ikinci bileşenlerinin boyutsuz yüzey potansiyelleri eşit alınmıştır ($\Omega_1 = \Omega_2$). Yapılan q

⁵ <http://keplerebs.villanova.edu/overview/?k=3848042>

taraması, sistemdeki birinci ve ikinci bileşen yıldızların Roche lobunu doldurduğu ve iç Lagrange noktasını doldurup dışarı taşıdığı varsayarak Mod 3 (yani overcontact binary not in thermal contact) kullanılmıştır. q taraması yapılırken her q değeri için, Gözlemsel ışık eğrisi ile model (teorik) ışık eğrisi arasında oluşturulan fark kare toplamının (yani, $\Sigma(O-C)^2$) en küçük değere ulaşmaya kadar ve ışık eğrisi model en uygun bir çözüme yaklaşıncaya kadar yukarıda bahsedilen serbest bırakılan parametreler (i , T_1 , Ω_1 , L_1) tekrarlanmıştır. Tarama süresince, bolometrik kenar kararırma katsayıları, kenar kararırma katsayılarının değerleri ve yansıma katsayıları için van Hamme (1993) tabloları kullanılmış ve PHOEBE programı bu değerleri otomatik olarak ayarlamıştır. q taramasında fark kareleri toplamı ($\Sigma(O-C)^2$) ile q kütle oranı arasındaki ilişki Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’de görüldüğü gibi en küçük fark kare toplamına ($\Sigma(O-C)^2=0.000019$) en uygun $q=2.12$ ($1/q=0.47$)’de (içi dolu kırmızı nokta) ulaşılmıştır. q oranına 2.12 civarında daha hassas bakmak için q ’nun 2.07 ile 2.16 aralığındaki hassas taraması yapılmış ve elde edilen grafik Şekil 3’ün içinde küçük şekil olarak verilmiştir.



Şekil 3. KIC3848042 örten çift yıldızı için ($1.745 \leq q \leq 2.685$) arasında değişen q -taraması

Sonuç olarak, q taraması ile $\Sigma(O-C)^2$ değerine bakarak KIC3848042 W UMa değen çift yıldız sisteminin gözlenen ve sentetik ışık arasında en uygun ışık eğrisi modeli elde edilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen sentetik ışık eğrisinin en ideal parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de $\Omega_{1,2}$ boyutsuz bileşen yıldızların eş potansiyel yüzeylerini, $A_{1,2}$ bileşenlerin yüzey bolometrik albedolarını, $g_{1,2}$ bileşenlerin çekim kararırma sabitlerini, $f_{1,2}$ doldurma faktörünü, $x_{1,2}$ ve $y_{1,2}$ van Hamme (1993) tablosundan alınan lineer kenar kararırma katsayılarını, $\Omega_{L1,L2}$ bileşenler arasında birbirini kesen iç (birinci) ve dış (ikinci) Lagrange noktalarını, $r_{1,2}$ bileşenler arası uzaklıklar cinsinden kesirsel

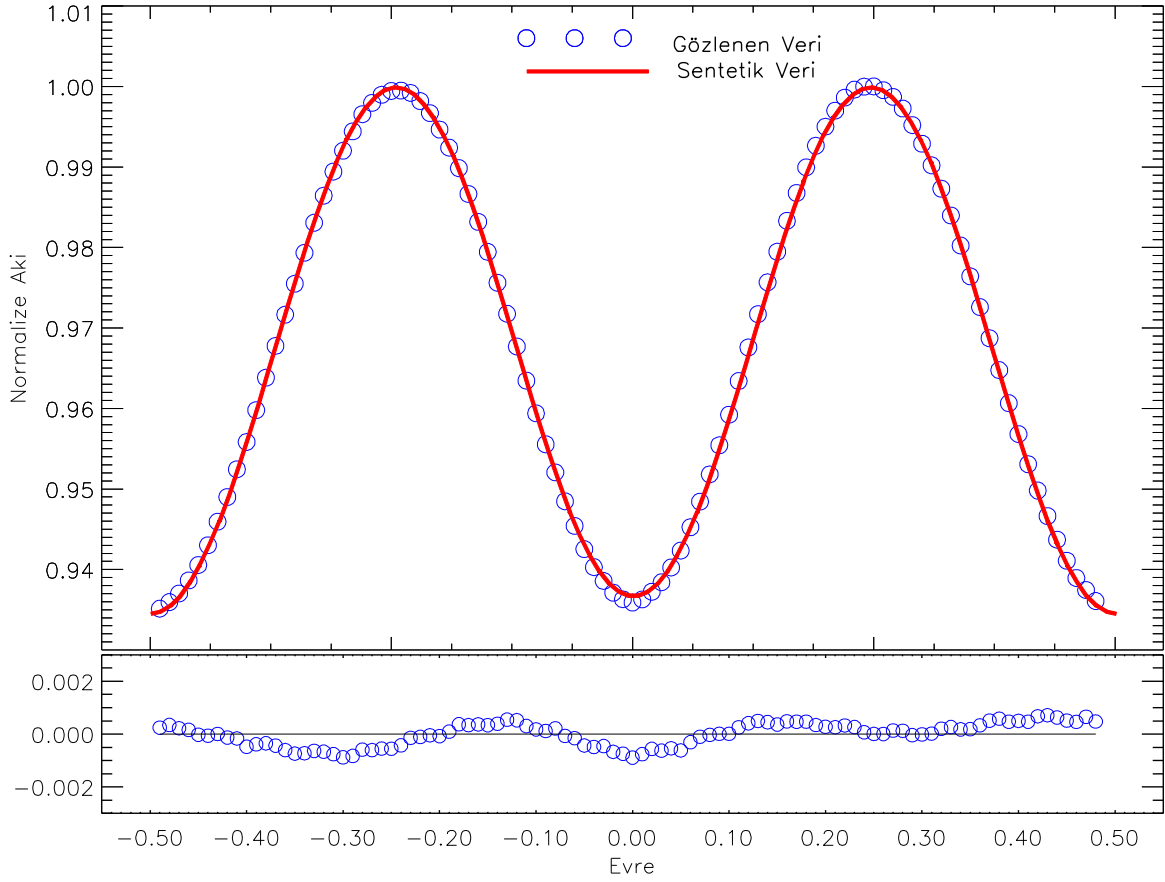
yarıçaplarını ve $\Sigma(O-C)^2$ ölçülen değerle ile kuramsal değerler arasındaki artış göstermektedir. Tablo 2’de verilen parametrelerdeki belirsizlikler, PHOEBE’deki Wilson-Devinney programının ürettiği biçimsel hata karşılık gelmektedir.

Gözlemlenen ve sentetik ışık eğrilerinin grafikleri de Şekil 4’de birlikte verilmiştir. Şekil 4’de verilen gözlemsel ışık eğrisi için Kepler kataloğundan Q1-Q17 arasındaki tüm quarterler alınmış ve tüm quarterler katlanarak ortalamaları alınmıştır. Şekil 4’de mavi daireler Kepler veri tabanından alınan gözlemsel ışık eğrisini, düz kırmızıçizgi ise PHOEBE programıyla (Prsa, 2011) modellenen en iyi sentetik ışık eğrisini temsil etmektedir. Gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri arasındaki farkları gösteren artık değerleri eğrinin altında verilmiştir.

KIC3848042 sisteminin üç boyutlu geometrik şekillerine ve Roche loblarınınını doldurup doldurmadığına bakmak için sentetik ışık eğri modelinin elde edilen parametreleri Binary Maker 3.0 (BM3) programında (Bradstreet ve Steelman, 2004) girdi parametresi olarak kullanılmış ve sistemin baş ve yoldaş bileşenlerin Şekil 5’de verildiği gibi farklı evrelerdeki (0.00, 0.25, 0.50 ve 0.75) geometrik şekilleri ve Roche geometrisi elde edilmiştir.

Tablo 2. PHOEBE kullanılarak KIC3848042’nin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Değerler	Parametre	Değerler
i ($^{\circ}$)	34,0±0.1	y_1 (bolo)	0,6962
$1/q$ (M_1/M_2)	2,12	y_2 (bolo)	0,6489
T_1 (K)	6440±6	Ω_{L1}	2,8236±0.0013
T_2 (K)	6398±7	Ω_{L2}	2,5395± 0.0010
$\Omega_1=\Omega_2$.	2,80±0.01	r_1 (kenar)	0,4502± 0.0004
$A_1=A_2$.	0,5	r_1 (kutup)	0,4229± 0.0004
$g_1=g_2$	0,32	r_1 (arka)	0,4794± 0.0006
$f_1=f_2$ (%)	8,3	r_{1ort}	0,4508± 0.0006
$L_1/(L_1+L_2)$	0,66	r_2 (kenar)	0,3127± 0.0002
$L_2/(L_1+L_2)$	0,34	r_2 (kutup)	0,2991± 0.0001
x_1 (bolo) .	0,1413	r_2 (arka)	0,3477± 0.0003
x_2 (bolo)	0,0717	r_{2ort}	0,3198± 0.0006
		$\Sigma(O-C)^2$	0,000019



Şekil 4. KIC3848042 örten çift yıldız sisteminin evreye göre gözlemsel ve sentetik ışık eğrileri (üst) ve gözlenen ve sentetik değerler arasındaki artık değerler (alt).

Radyal hız eğrisi çözümlerinin olmaması nedeniyle, incelenen sistemin aşağıda verilen bazı mutlak parametrelerini belirlemek için literatürden elde edilen ve yörünge dönemi (P) ilişkisi kullanan bazı ampirik formüller kullanılmıştır.

Sistemi oluşturan baş ve yoldaş bileşen yıldızların kütleleri güneş kütlesi cinsinden ($M_{\odot}=1.99 \times 10^{33} gr$) (Cox, 2002)

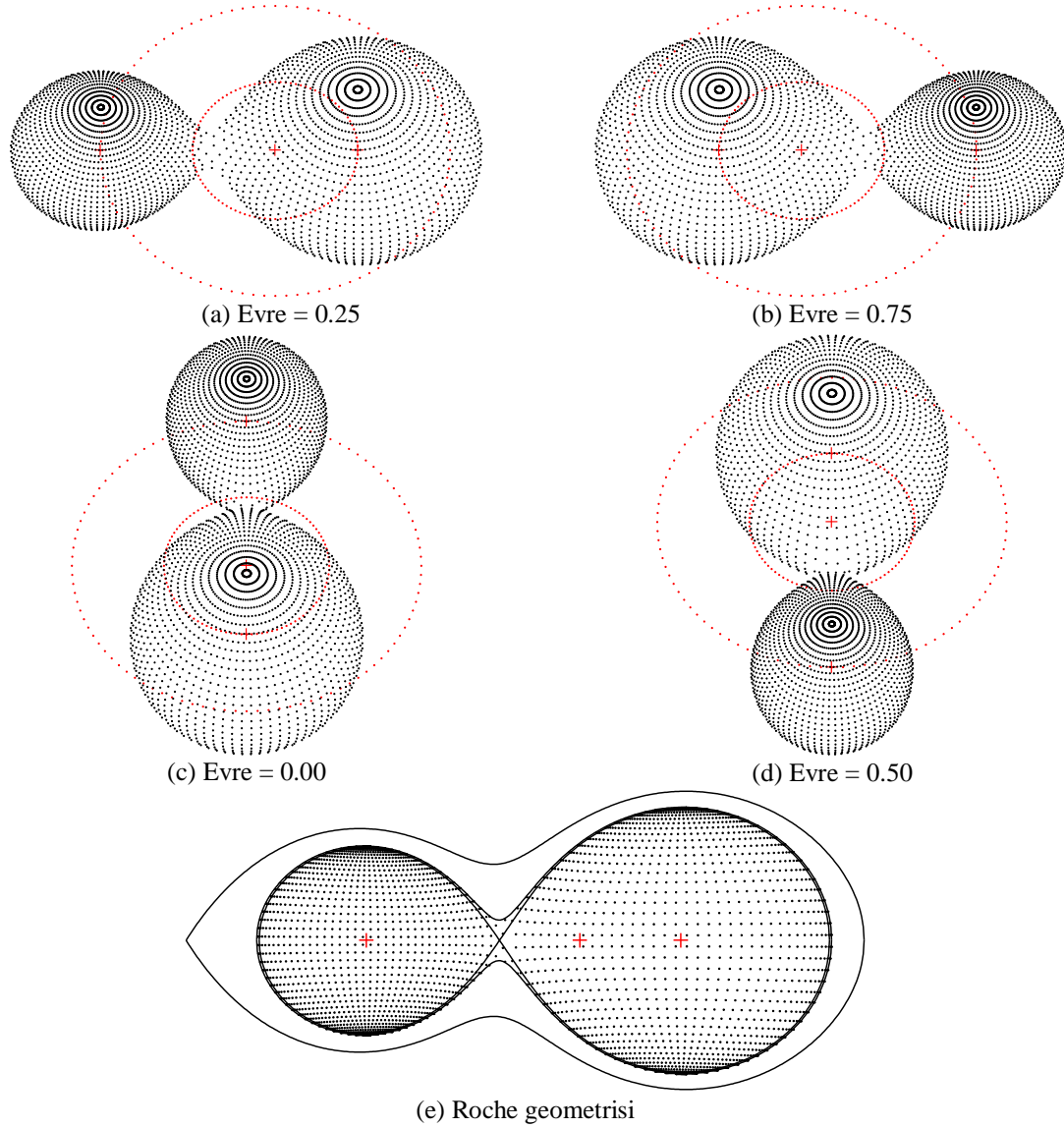
$$\begin{aligned} \log M_1 &= (0.755 \pm 0.059) \log P + (0.416 \pm 0.024) \\ \log M_2 &= (0.352 \pm 0.166) \log P - (0.262 \pm 0.0267) \end{aligned} \quad (1)$$

eşitliği (Gazeas ve Stepień 2008) kullanılarak sırasıyla $M_1 = 0.769 \pm 0.238 M_{\odot}$, $M_2 = 1.635 \pm 0.850 M_{\odot}$ olarak ve güneş kütlesi biriminde ($M_{\odot}=1.99 \times 10^{33} gr$) (Cox, 2002) sistemin toplam kütlesi de ($M_T=M_1+M_2$) $2.41 \pm 0.55 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır.

Güneş yarıçapı ($R_{\odot} = 6.96 \times 10^5 km$) (Cox, 2002) cinsinden bileşenler arasındaki yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (a);

$$M_T = 0.0134 \frac{a^3}{P^2} \quad (2)$$

eşitliğinden $a=3.12 \pm 0.35 R_\odot$ olarak hesaplanmıştır (Gazeas ve Stepien 2008; Dimitrov ve Kjurkchieva, 2015; Gürol ve ark., 2015).



Şekil 5. KIC3848042 çift yıldız sisteminin a) 0.25 b) 0.75, c) 0.0, d) 0.5 evrelerindeki üç boyutlu geometrik temsili görüntüleri ve e) Roche geometrisi.

Tablo 2’de verilen bileşenler için kenar, arka ve kutup yarıçaplarının ortalamaları olan ortalama kesirsel yarıçaplar ($r_{1,2ort}$) kullanarak bileşenlerinin yarıçapları

$$R_{1,2} = r_{1,2ort} a \quad (3)$$

Güneş yarıçapı (R_{\odot}) cinsinden $R_1 = 0.99 \pm 0.25 R_{\odot}$, $R_2 = 1.41 \pm 0.35 R_{\odot}$ ($R_1 < R_2$) olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Burada R_1 ve R_2 arasında $R_2/R_1 = q^{0.46} = 1.41$ ilişkisi vardır.

Stefan Boltzmann yasası kullanılarak bileşenlerin toplam bolometrik ışıma güçleri ($L_{1,2}$) güneş sıcaklığı ($T_{\odot} = 5780K$) (Cox, 2002) ve güneş yarıçapı (R_{\odot}) ifadeleri kullanılarak güneşin ışınım gücü cinsinden (L_{\odot} biriminde, $3.83 \times 10^{33} \text{ erg/sn}$) (Cox, 2002)

$$\frac{L_{1,2}}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_{1,2}}{R_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T_{1,2}}{T_{\odot}} \right)^4 \quad (4)$$

eşitliği ile $L_1 = 1.53 \pm 0.22 L_{\odot}$, $L_2 = 2.97 \pm 1.24 L_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır (Gürol ve ark., 2015).

UMa türü çift yıldız sisteminin toplam mutlak parlaklık (M_v) yörünge dönemi cinsinden

$$M_{v,top} = -8.4 \log(P) + 0.31 \quad (5)$$

eşitliği kullanılarak $M_{v,top} = 3^m.55 \pm 0.31$ olarak elde edilmiştir (Gazeas ve Stepień, 2008). Bileşenlerin mutlak parlaklık (M_v) değerleri ise

$$M_{v(1,2)} = M_{v,top} - 2.5 \log \left(\frac{L_{1,2}}{L_1 + L_2} \right) \quad (6)$$

eşitliğinden Tablo 3’de verildiği gibi sırasıyla $M_{v,1} = 4^m.71 \pm 0.43$ ve $M_{v,2} = 3^m.99 \pm 0.36$ olarak elde edilmiştir.

Güneşin mutlak bolometrik parlaklığı ($M_{bol,\odot} = 4^m.74$) (Cox, 2002), güneş sıcaklığı (T_{\odot}) ve güneş yarıçapı (R_{\odot}) cinsinden bileşenlerin mutlak bolometrik parlaklıkları,

$$M_{bol,1,2} = M_{bol,\odot} - 5 \log \left(\frac{R_{1,2}}{R_{\odot}} \right) - 10 \log \left(\frac{T_{1,2}}{T_{\odot}} \right) \quad (7)$$

eşitliği kullanılarak $M_{bol,1} = 4^m.31 \pm 0.68$ ve $M_{bol,2} = 3^m.59 \pm 1.19$ olarak hesaplanmıştır (Wesselink, 1969; Gürol ve ark., 2015).

W UMa türü çift yıldız sistemlerinin ($B-V$)₀ öz rengi için

$$(B-V)_0 = 0.062 - 1.310 \log(P) \quad (8)$$

eşitliği verilmektedir (Wang, 1994; Gazeas ve Stepień, 2008). Buna göre, KIC3848042 sisteminin öz rengi $0^m.567$ olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 8’den ($B-V$)₀ ve Tablo 1’den $E(B-V)$ değerleri kullanılarak görünür renk indeksi ($B-V$) değeri

$$(B-V) = (B-V)_0 + E(B-V)_0 \quad (9)$$

eşitliğinden 0.71 olarak elde edilmiştir.

Galaksimiz için kabul edilen kızıllaşma miktarına (A_v)

$$A_v = 3.1 \times E(B-V) \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada E(B-V) renk artığıdır. KIC3848042 sistemi için Tablo 1’de verildiği gibi $E(B-V) = 0^m.143$ ’dir.

Tablo 1’de verilen sistemin görünür parlaklık değeri ($m_v = 14^m.965$) ve Eşitlik 6’dan elde edilen mutlak parlaklık değeri ($M_v = 3^m.97$) kullanılarak sistemin uzaklığı (d)

$$m_v - M_v = +5 \log(d) - 5 + A_v \quad (9)$$

eşitliğinden $d = 1.94 \pm 0.33$ kpc olarak bulunmuştur. Burada $m_v - M_v$ uzaklık modülüdür. KIC3848042 sistemi için Gaia uydusundan ölçülen trigonometrik paralaks değeri $p = 0.4161020297560 \pm 0.018900383$ mas (milliarsecond: mas) olarak verilmiştir. Bu değeri uzaklık birimine çevirdiğimizde ($d = 1/\tan(p) \approx 1/p$) $d = 2.40$ kpc olarak elde edilir.

Sonuç olarak, yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak elde edilen mutlak parametreler Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. KIC3848042'nin ışık eğrisi çözümünden elde edilen mutlak parametre değerleri.

Parametre	Değerler	Parametre	Değerler
$a (R_\odot)$	$3,12 \pm 0.35$	$M_{V,top}^{(m)}$	$3,56 \pm 0.03$
$M_1 (M_\odot)$	$0,77 \pm 0.24$	$M_{V,1}^{(m)}$	$4,71 \pm 0.43$
$M_2 (M_\odot)$	$1,64 \pm 0.85$	$M_{V,2}^{(m)}$	$3,99 \pm 0.36$
$M_T (M_\odot)$	$2,41 \pm 0.55$	$M_{bol}^{(m)}$	$4,31 \pm 0.68$
$R_1 (R_\odot)$	$0,99 \pm 0.25$	$M_{bol,2}^{(m)}$	$3,59 \pm 1.19$
$R_2 (R_\odot)$	$1,41 \pm 0.35$	$(B-V)_0^{(m)}$	$0,57$
$L_1 (L_\odot)$	$1,53 \pm 0.22$	$(B-V)^{(m)}$	$0,71$
$L_2 (L_\odot)$	$2,97 \pm 1.24$	mesafe (kpc)	$1,94 \pm 0.33$

4. Sonuç

Bu çalışmada, Kepler uydusunun görüş alanında olan kısa yörünge dönemli KIC3848042 ($\alpha_{2000} = 19^s 23^m 12^s.3941$, $\delta_{2000} = +38^\circ 57' 10''.673$) W UMa örten çift yıldız sistemi incelenmiştir. Wilson-Devinney programını temel alan PHOEBE yazılımı kullanılarak değen çift yıldız sisteminin fotometrik ışık eğrisi modellenmiş ve temel yıldız parametreleri elde edilmiştir. Sistemin yörünge dönemi ($P = 0.4114527$ gün) ve yıldızın etkin yüzey sıcaklık değeri ($T_{eff} = 6398$ K) Kepler Kataloğundan alınmıştır. İlk önce yörünge dış merkezliğinin (e) ve üçüncü ışık (L_3) sıfır olduğunu varsayılarak detaylı q taraması yapılmıştır.

Analiz sonucu elde edilen fotometrik ışık eğrisi için kütle oranının ($q = M_2/M_1$) 2.12 ($1/q = 0.47$), yörünge eğiklik açısının (i) 34.0 ± 0.10 , daha küçük kütle ve daha küçük sıcaklığa sahip birinci

bileşenin sıcaklığı (T_1) 6440 K ve bileşenlerin boyutsuz yüzey potansiyelleri ($\Omega_1=\Omega_2$) 2.80 olarak elde edilmiştir.

Sistemin yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (a) $3.12\pm 0.35 R_\odot$ olarak hesaplanan baş ve yoldaş bileşenin kütleleri $M_1 = 0.77\pm 0.24 M_\odot$, $M_2 = 1.64\pm 0.85 M_\odot$, ($M_1 > M_2$), yarıçap değerleri $R_1 = 0.99\pm 0.25 R_\odot$, $R_2 = 1.41\pm 0.35 R_\odot$ ($R_1 > R_2$), ışınma güçleri $L_1 = 1.53\pm 0.22 L_\odot$, $L_2 = 2.97\pm 1.24 L_\odot$ ($L_1 > L_2$), mutlak parlaklıkları $M_{V,1}=4^m.71\pm 0.43$ ve $M_{V,2}=3^m.99\pm 0.36$ ($M_{V,top} = 3^m.55\pm 0.31$) ve mutlak bolometrik parlaklıkları $M_{bol,1}=4^m.31\pm 0.68$ ve $M_{bol,2}=3^m.59\pm 1.19$ olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi A-alt türleri A–F tayf türlerine, W-alt türleri ise G–K tayf türlerine sahiptir. Benzer şekilde, W-alt türü çiftler genellikle A-alt türlerine göre daha kısa yörünge dönemlerine ($0.22 < P < 0.4$ gün) sahip olduklarından, KIC3848042 sisteminin de $P = 0.4114527$ gün yörünge dönemi ile yaklaşık olarak W-alt türünün en üst sınırında bulunmaktadır. KIC3848042 sisteminin kütle oranı $q = 2.12$ olarak elde edildiğinden sistemin bir W-alt türü sistem ($q > 0.3$) olduğu bulunmuştur (Maceroni 1985; Csizmadia ve Klagyivik, 2004; Wadhwa, 2005; Skelton ve Smith, 2009).

KIC3848042 sisteminin geometrik taşma derecesi (f) yaklaşık % 8.3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ise W-alt türü çift yıldızların alt sınırından biraz daha düşüktür. Farklı evreler ($\phi = 0.0, 0.25, 0.5, 0.75$) çizilen üç boyutlu geometrik şekillerinden ve Roche geometrisinden sisteminin her iki bileşeninin de Roche lobunu doldurup iç Lagrange noktasının dışarı taşıdığı görülmüştür.

Sonuç olarak, sistemin küçük kütleli ($M_1 = 0,77\pm 0.24 M_\odot$) bileşeninin sıcaklığının yüksek olması ($T_1= 6440$ K), kütle oranının $q = 2,12$ olması, ve taşma derecesinin yaklaşık %8.3 olması durumları göz önüne alındığında, çalışılan KIC3848042 sisteminin W-alt türü değen örten bir anakol yıldızı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sistemin renk indeksi, bileşenlerin ışınma güçleri ve sıcaklıkları da göz önüne alındığında sistemin yaklaşık F7V tayf türünden (Cox, 2002; Eker ve ark. 2020) bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu sonucun normal olduğunu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada, NASA tarafından finanse edilen ve Villanova Üniversitesi tarafından hazırlanmış olan Kepler Örten Çift Yıldız Kataloğundan (<http://keplerebs.villanova.edu/>) elde edilen veriler kullanılmıştır.

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

- Abdul-Masih M., Prsa A., Conroy K., Bloemen S., Boyajian T., Doyle LR., Johnston C., Kostov V., Latham DW., Matijevic G., Shporer A., Southworth J. Kepler eclipsing binary stars. VIII. identification of false positive eclipsing binaries and re-extraction of new light curves. *The Astronomical Journal*, 2016; 151(4): 1-10.
- Bradstreet DH., Steelman DP. Binary maker 3. Light Curve Synthesis Program User Manual, Contact Software, 725 Stanbridge St., Norristown, PA, 2004; 19401-5505.
- Binnendijk L. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. *Vistas in Astronomy*, 1970; 12: 217-256.
- Caldwell DA., Kolodziejczak JJ., Van Cleve JE., Jenkins JM., Gazis PR., Argabright VS., Bachtell EE., Dunham EW., Geary JC., Gilliland RL., Chandrasekaran H., Li J., Tenenbaum P., Wu H., Borucki WJ., Bryson ST., Dotson JL., Haas MR., Koch DG. Instrument performance in Kepler's first months. *The Astrophysical Journal Letters*, 2010; 713(2): L92-L96
- Csizmadia SZ., Klagyivik P. On the properties of contact binary stars. *Astronomy and Astrophysics* 2004; 426(3): 1001-1005.
- Cox AN. Allen's astrophysical quantities, fourth edition. Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory MS B288, P.O. Box 1663, Los Alamos, NM 87545, USA, 2002.
- Dimitrov DP., Kjurkchieva DP. Ultrashort-period main-sequence eclipsing systems: new observations and light-curve solutions of six NSVS binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2015; 448(3): 2890-2899.
- Eker Z., Soyduğan F., Bilir S., Bakış V., Aliçavuş F., Özer S., Aslan G., Alpsoy M., Köse Y. Empirical bolometric correction coefficients for nearby main-sequence stars in the Gaia era. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2020; 496: 3887-3905.
- Gazeas KD., Niarchos PG. Masses and angular momenta of contact binary stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters* 2006; 370(1): L29-L32.
- Gazeas K., Stepień K. Angular momentum and mass evolution of contact binaries, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2008; 390: 1577-1586.
- Gürol B., Bradstreet DH., Okan A. Absolute and geometric parameters of the WUMa type contact binary V546 And, *New Astronomy*, 2015; 36:100-109.
- Hilditch RW., King D. J., McFarlane TM. The evolutionary state of contact and near-contact binary stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1988; 231(2): 341-352.
- Hilditch RW. The evolution of binary stars into contact states. *Space Science Reviews* 1989; 50: 289-297.
- Joshi YC., Jagirdar R., Joshi S. Photometric studies of two W UMa type variables in the field of distant open cluster NGC 6866, *Research in Astronomy and Astrophysics* 2016; 16(4): 63.
- Koch DG., Borucki WJ., Basri G., Batalha NM., Brown TM., Caldwell D., Jørgen CD., Cochran WD., DeVore E., Dunham EW., Gautier TN., Geary JC., Gilliland RL., Gould A., Jenkins J., Kondo

- Y., Latham DW., Lissauer JJ., Marcy G., Monet D., Sasselov D., Boss A., Brownlee D., Caldwell J., Dupree AK., Howell SB., Kjeldsen H., Meibom S., Morrison D., Owen T., Reitsema H., Tarter J., Bryson ST., Dotson JL., Gazis P. ; Haas MR., Kolodziejczak J., Rowe JF., Van Cleve JE., Allen C., Chandrasekaran H., Clarke BD., Li J., Quintana EV., Tenenbaum P., Twicken JD., Wu H. Kepler mission design, realized photometric performance, and early science. *The Astrophysical Journal Letters* 2010; 713(2): L79-L86.
- Kolenberg K., Szabo R., Kurtz DW., Gilliland RL., Christensen-Dalsgaard J., Kjeldsen H., Brown TM., Benko JM., Chadid M., Derekas A., Di Criscienzo M., Guggenberger E., Kinemuchi K., Kunder A., Kollath Z., Kopacki G., Moskalik P., Nemeč JM., Nusp J., Silvotti R., Suran MD., Borucki WJ., Koch D., Jenkins JM. First Kepler results on Rr Lyrae stars. *The Astrophysical Journal Letters*, 2010; 713: L198–L203.
- Lucy LB. The structure of contact binaries. *Astrophysical Journal*, 1968; 151: 1123-1135.
- Lucy LB, Wilson RE. Observational tests of theories of contact binaries. *Astrophysical Journal*, Part 1 1979; 231: 502-513.
- Maceroni C., Milano L., Russo G. General properties of W Ursae Majoris systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1985, 217: 843-866.
- Matijević G., Prsa A., Orosz JA., Welsh WF., Bloemen S., Barclay T., Kepler eclipsing binary stars. III. classification of kepler eclipsing binary light curves with locally linear embedding, *Astronomical Journal*, 2012; 143(5):123, 1-6.
- Prsa A., Batalha N., Slawson RW., Doyle LR., Welsh WF., Orosz JA., Seager S., Rucker M., Mjaseth K., Engle SG., Conroy K., Jenkins J., Caldwell D., Koch D., Borucki W. Kepler eclipsing binary stars. I. catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal*, 2011; 141(3): 1-16.
- Prsa A., Zwitter T. A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. demonstrations and perspectives. *The Astrophysical Journal* 2005; 628(1): 426-438.
- Prsa A. PHOEBE scientific reference PHOEBE version 0.30, Villanova University College of Arts and Sciences, Dept. of Astronomy And Astrophysics, 2011.
- Prsa A., Batalha N., Slawson RW., Doyle LR., Welsh WF., Orosz JA., Seager S., Rucker M., Mjaseth K., Engle SG., Conroy K., Jenkins J., Caldwell D., Koch D., Borucki W. Kepler eclipsing binary stars. I. catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal* 2011; 141(3): 1-16.
- Rucinski SM. Contact binaries, instrumentation and research programmes for small telescopes, *Proceedings of the 118th. Symposium of the International Astronomical Union (IAUS)*, held in rch, New Zealand, December 2-6, 1985. Editors, J.B. Hearnshaw, P.L. Cottrell; Publishers, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland. Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, QB88 . I583, 1986. 159-172.

- Skelton PL., Smith DP. Modelling of W UMa-type variable stars. *South African Journal of Science* 2009; 105: 120-126.
- Slawson RW., Prša A., Welsh WF., Orosz JA., Rucker M., Batalha N., Doyle LR., Engle SG., Conroy K., Coughlin J., Gregg TA., Fetherolf T., Short DR., Windmiller G., Fabrycky DC., Howell SB., Jenkins JM., Uddin K., Mullally F., Seader SE., Thompson SE., Sanderfer DT., Borucki W., Koch D. Kepler eclipsing binary stars. II. 2165 eclipsing binaries in the second data release, *The Astronomical Journal*, 2011; 142: 160(14 sayfa).
- Thompson SE., Fraquelli D., van Cleve JE., Caldwell DA. Kepler: A search for terrestrial planets. Kepler archive manual, KDMC-10008-006, Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Drive, Baltimore, MD 21218, 2016.
- Van Cleve JE., Caldwell DA., Haas MR., Howell SB. Kepler: A search for terrestrial planets, Kepler Instrument Handbook, KSCI-19033-002, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035-1000, 2016.
- Van Hamme W. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves, *Astronomical Journal*, 1993; 106(5): 2096-2117.
- Wadhwa SS. Photometric analysis of southern contact binary stars, part 1: GZ Pup, AV Pup and II Aps. *Astrophys. Space Sci.*, 2005; 300: 289-296.
- Wang JM. The thermal relaxation oscillation states of contact binaries, *Astrophysical Journal*, 1994; 434: 277-282.
- Wesselink AJ. Surface brightnesses in the U, B, V system with applications of M_V and dimensions of stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1969; 144 (3):297–311.
- Wilson RE., Devinney EJ. Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *Astrophysical Journal* 1971; 166: 605-619.
- Wilson RE. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *Astrophysical Journal* 1979; 234: 1054-1066.
- Wilson RE. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *Astrophysical Journal*, 1990; 356, 613-662.
- Wilson RE., Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation, *The Astrophysical Journal* 2008; 672(1): 575-589.
- Yıldız M., Doğan T. On the origin of W UMa type contact binaries -a new method for computation of initial masses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical*, 2013; 430: 2029-2038



Gazi Üniversitesi Kampüs Bilgi Sistemi Tasarımı ve CBS ile Entegrasyonu

Halil YILMAZ^{1*}, Ümit YURT², Şule TÜDEŞ³, Hanifi TOKGÖZ⁴, Turkey TÜDEŞ⁵, Mustafa DAYI⁶

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Yeniçağa Yaşar Çelik Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, 14650, Bolu

²Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, 81010, Düzce

³Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 06570, Ankara

⁴Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

⁵Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı, 06500, Ankara

⁶Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

¹ <https://orcid.org/0000-0002-6486-4081>

² <https://orcid.org/0000-0001-6009-6786>

³ <https://orcid.org/0000-0002-1684-4393>

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-4826-7973>

⁵ <https://orcid.org/0000-0003-2324-6727>

⁶ <https://orcid.org/0000-0002-9823-4563>

*Sorumlu yazar: yilmaz_h3@ibu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.03.2022

Kabul tarihi:04.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

CBS

Kampüs bilgi sistemi

Üniversite

Planlama

Karar sistemi

ÖZ

Üniversiteler bilginin üretilmesinde, paylaşılmasında ve yayılmasında önemli rol üstlenmektedirler. Farklı disiplinlerin bir arada bulunduğu bu kurumlar, eğitim-öğretim faaliyetlerinin yanı sıra, araştırma-geliştirme, yönetim, barınma, bakım onarım gibi birimleri yapılarında bulunduran sosyal ve kültürel merkezlerdir. Tüm faaliyetlerin sürdürülebilir olması düzenli bir sistem altyapısı gerektirmektedir. Bu çalışma, Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) altyapısı kullanılarak hâlihazırda bulunan mekânsal bilgilerin, ulaşılabilir ve sorgulanabilir olması için gerekli sözel, sayısal ve grafiksel verilerin toplanarak sistem altyapısında birleştirilmesinden oluşmaktadır. Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, kampüs alanı içine poligon ağı kurularak her bir nokta (binalar, ağaçlar, yollar, sosyal donatılar vb.) koordinatlı olarak ölçülmüştür. Ölçüm işlemleri sonrasında oluşturulan sayısal haritalar ve araştırma alanından toplanan tüm veriler tematik haritalarla ilişkilendirilerek CBS sistem altyapısı oluşturulmuştur. Sonuç olarak Üniversitenin geleceğe yönelik yapacağı düzenlemelerde, bilgi ve belgelerin sorgulanmasına, mevcut bilgilere tek noktadan ulaşılmasına, istenilen sorgulama ve analizlerin yapılmasına imkân verecek bir CBS tabanlı kampüs bilgi sistemi altyapısı oluşturulmuştur.

Gazi University Campus Information System Design and Integration with GIS

Research Article

Article History:

Received: 29.03.2022

Accepted: 04.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

GIS

Campus information system

University

Planning

Decision system

ABSTRACT

Universities play an important role in producing, sharing, and spreading knowledge. These institutions, where different disciplines coexist, are social and cultural centers that contain units such as research-development, management, accommodation, maintenance, and repair, as well as educational activities. Sustainability of all activities requires a regular system infrastructure. This study consists of collecting the verbal, numerical, and graphical data necessary to make the spatial information accessible and questionable by using the Geographical Information Systems (GIS) infrastructure and combining them in the system infrastructure. In this study

carried out on the Gazi University Beşevler campus, each point (buildings, trees, roads, social facilities, etc.) was measured in coordinates by establishing a polygon network in the campus area. The digital maps created after the measurement processes and all data collected from the research area were associated with thematic maps, and the GIS system infrastructure was created. As a result, a GIS-based campus information system infrastructure has been created that will enable the University to query information and documents, access existing information from a single point, and make the desired queries and analyzes in the future arrangements of the University.

To Cite: Yılmaz H., Yurt İ., Tüdeş Ş., Tokgöz H., Tüdeş T., Dayı M. Gazi Üniversitesi Kampüs Bilgi Sistemi Tasarımı ve CBS ile Entegrasyonu. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1720-1732.

1. Giriş

Gelişen ve sürekli değişen dünyada bilgi ve belgelere ulaşım hızı oldukça önemlidir. Bilginin üretildiği üniversitelerimizde istenilen belgelere zaman kaybetmeden ulaşılması gerekmektedir. Bu doğrultuda özellikle üniversite yönetiminin eğitim-öğretim faaliyetlerini aksatmadan doğru ve hızlı kararlar alması son derece önemlidir (Malhotra ve ark., 2020). Günümüzün başlıca sorunlarından biri kurumlarda bilgiye gerektiğinde hızlı, doğru ve kolay ulaşılabilmesidir (Cobarsí ve ark., 2008). Eldeki bilgilerin düzenli bir şekilde arşivlenmesi, eğitim-öğretim faaliyetlerinin yanında araştırma hizmetlerinin de en iyi şekilde yapılabilmesi, mevcut bilgilerin sağlıklı ve hızlı kullanılabilmesine bağlıdır (Tecim ve ark., 2021). Mevcut bilgilerin belli bir düzen halinde hazırlanmasının yanında, bu bilgilerden yeni bilgiler üretilmesi, kullanıcı ihtiyaçlarının hızlı bir şekilde karşılanması ancak kurulacak bir bilgi sistemiyle mümkün olabilir. Bilgisayar donanımı ve yazılımı nitelikli insan gücünün fonksiyonları olarak sürdürülebilmektedir. Bu kapsamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) nitelikli uzman kullanıcılar tarafından geliştirilen veriyi depolama, görüntüleme, sorgulama, yönetme ve analiz etme imkânları sunan bir bilgi sistemidir (Wong ve Jusuf, 2008; Huang ve ark., 2010; Bilgiliöğlü ve ark., 2011; Büke, 2016). CBS, gayrimenkul değerlendirme, haritacılık, turizm sektörü, mühendislik alanları, kentsel ve bölgesel planlama, özel sektör ve yerel yönetimler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Yurt ve ark., 2016; Alshuwaikhat ve ark., 2017; Muthanna ve ark., 2018). CBS birbirinden farklı bakış açılarına sahip, disiplinler arası uygulama alanlarında uygulama yapma imkânı sağlamaktadır (Huabin ve ark., 2005; Bascompta ve ark., 2016; Huang ve ark., 2016; Narulita ve ark., 2016; Natarajan ve ark., 2016; Seenath ve ark., 2016; Peragón ve ark., 2017; Kumar ve Bansal, 2021). CBS kullanımını yaygınlaştırmak ve önemini anlatmak bakımından bilginin üretildiği ve toplumun bilinçlendirilmesinde öncelikli kurum olan üniversitelerde Bilgi Sistemlerinin oluşturulması önem taşımaktadır. Ayrıca üniversitelerin eğitim-öğretim ve araştırma faaliyetlerini aksatmadan kendi fiziksel ve mekânsal özelliklerini sürdürülebilir kılmak ve geliştirebilmek için böyle bir Veri Tabanı Sistemi gerekmektedir. Bu Bilgi Sistemi sayesinde üniversiteler bilgilerin hızlı ve doğru kullanılmasını, verilerin güncellenmesini, kaybolmaya yüz tutmuş arşiv bilgilerinin sayısal ortamda yeniden işlevsel hale getirilip depolanmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla kampüs bilgi sistemi analiz, sorgulama, görüntüleme ve bilgi üretme kapasitesi ile sadece veri erişimini değil kullanıcının doğru

karar verebilme kapasitesini artıracaktır. Teknolojinin gelişimine bağlı olarak CBS sistemlerine altlık oluşturabilecek farklı harita üretme sistemleri geliştirilmektedir. Son yıllarda insansız hava araçları yardımıyla üretilen verilerin kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Deniz ve Güngör, 2020). Bu kapsamda bu çalışmada Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü uygulama ve çalışma alanı olarak seçilmiştir. Aynı zamanda Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü tarafından desteklenen bu çalışmanın amacı, Kampüs Bilgi Sisteminin temel altyapısının nasıl olması gerektiği üzerinde durularak CBS ile bir bilgi sisteminin tasarımı, modellenmesi ve uygulanmasıdır. Tasarlanıp uygulanan Gazi Üniversitesi Bilgi Sistemi (GÜKBİS), Üniversite yönetiminin geleceğe yönelik planlama ile ilgili her türlü karar alma, yönetim, ihtiyaç ve hizmetlerine yönelik uygulamaların sağlıklı ve istenilen hızda verilmesine yönelik çalışmayı kapsamaktadır. Çalışma temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Coğrafi Bilgi Sistemlerinin ve Kampüs Bilgi Sistemlerinin birbiri ile ilişkilendirmesi için gerekli olan veriler belirlenmiştir. İkinci aşamada arazi çalışmalarıyla yerinde yapılan ölçümlerle sayısal veriler, uzman görüşleri, gözlemler, anketler ve arşiv bilgilerinden yararlanılarak sözel veriler elde edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise Gazi Üniversitesi Beşevler kampüsüne ait ilk iki aşamada elde edilen sayısal ve sözel veriler gerekli düzenlemeler ve sınıflandırmalar yapıldıktan sonra CBS yazılımları ile ilişkilendirilerek sistemin temel altyapısı oluşturulmuştur. Sistem; altyapı mühendislik, planlama, mimari ve inşaat konularında Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsüne sürdürülebilir bir nitelik kazandıracaktır. Böylece yapılacak çalışmaların kurumsal bir kimlikle hem mevcut hem de gelecek karar vericilere erişim imkânı ve karar desteği sağlayacağı öngörülmektedir.

2. Kampüs Bilgi Sistemi

Kampüs bilgi sistemleri eğitim-öğretim, araştırma ve yönetsel ihtiyaçların yanı sıra fakülte, bölüm gibi üniversite ve akademik alt birimlerine ilişkin ihtiyaç duyulan konuma bağlı olan ya da olmayan verilerin toplanması, analiz ve sorgulama işlemlerinin yapılması, rapor ve grafiklerinin sunulması için bir araya getirilmiş ve,- yazılım, donanım, personel ve birbiri ile ilişkilendirilmiş nitelikli verilerden oluşan bir bütündür (Bilgilioğlu ve ark., 2011). CBS; üniversite kampüsleri içinde bulunan binaların ve yaşayan yoğun nüfusun yönetilmesinde ve,- hizmetlerin aksamadan gerçekleşmesinde önemli bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Özellikle altyapısında bulunan tüm verileri, istenilen formda analiz etme ve raporlama imkânı bulunan, mekânsal verileri grafiksel görüntüleme yöntemleri ile sunarak, yöneticilerin doğru ve hızlı bir şekilde karar vermelerine olanak tanıyan sistemler bütünüdür (İneç ve Akpınar, 2012). Fiziksel ve mekânsal planlamada harita tabanlı bilgi sistemlerinin kullanılmasının üniversitelerin gelişimine fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca gelişmiş ülkelerde CBS aracılığı ile ülkesel ölçekte veri ağı yönetim sistemi ve veri paylaşımına geçilmiştir. Bu paylaşım sayesinde kurumlar arasında imzalanan protokoller sayesinde ihtiyaç duyulan sayısal/sözel verilere gerektiğinde hızlı ve doğru şekilde ulaşım sağlanabilmektedir. Ancak Türkiye’de henüz ortak dilde hazırlanmış böyle bir veri ağı bulunmamaktadır. Bu şekilde bir

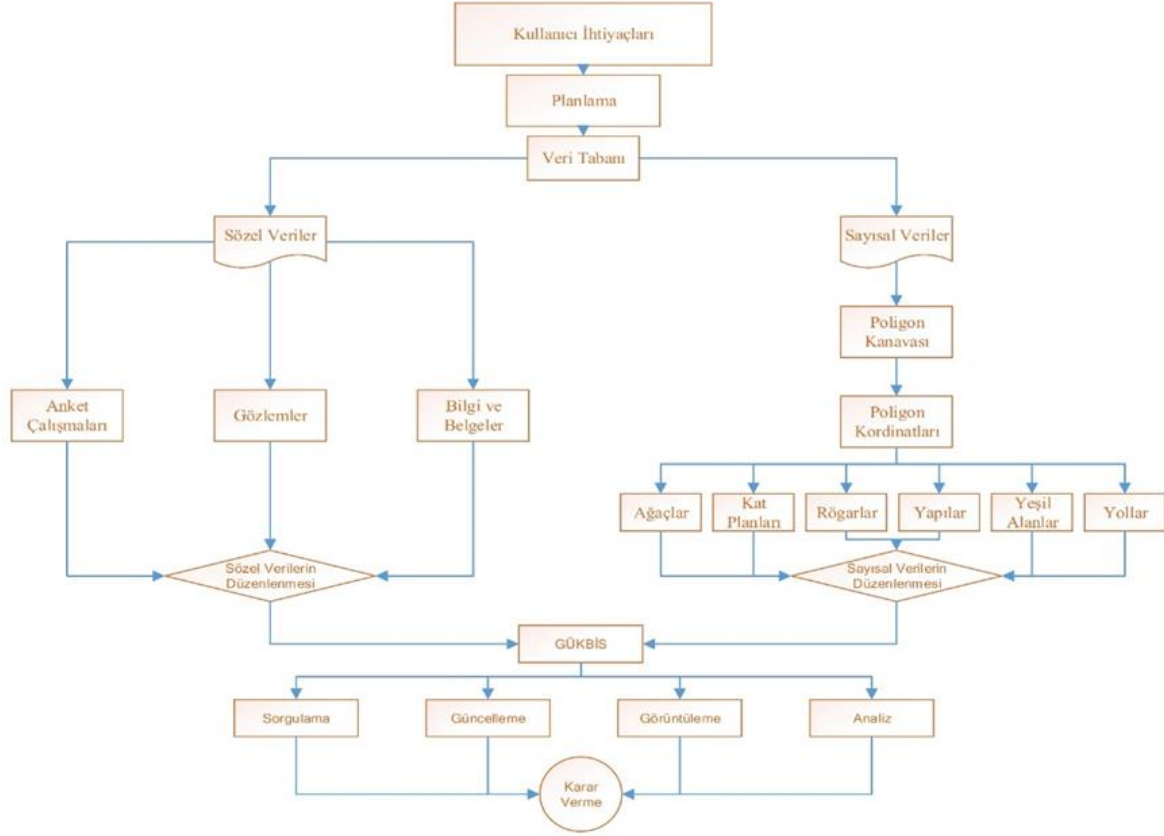
veri sisteminin oluşturulması da ancak ortak dilde hazırlanmış bir CBS tabanlı veri sistemi aracılığıyla olabilir. Dolayısıyla kurumların kendi bünyelerinde oluşturacağı TAKBİS gibi kent bilgi sistemlerinin ülkesel ölçekte yapılabilmesi için Kampüs Bilgi Sistemleri kilit taşı niteliği taşıyacaktır. Bu bağlamda, bu araştırmanın gelecekte sadece Gazi Üniversitesi veri tabanına bağlı kalmayıp Türkiye Bilgi Sistemi gibi daha büyük ölçekli bir veri ağına entegre olacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın projeksiyonu aynı zaman da bu tür çalışmalara da bir başlangıç rehberi olarak ışık tutacak niteliktedir. Bu çerçevede bir toplumun gelişmesinde en önemli role sahip olan eğitim kurumlarında, faydalı bir araç olarak görülen bilgi sistemlerinden yararlanılması, kaçınılmaz bir durumdur (Tiryakioğlu ve Erdoğan, 2004).

3. Materyal ve Metot

Üniversite kampüsleri için bilgi sistemi uygulamaları dünyada ve ülkemizde birçok üniversite tarafından gerçekleştirilmiştir. Bazı üniversitelerde (Teksas A&M Üniversitesi, Abilene Christian Üniversitesi, Berkeley Üniversitesi, California State Üniversitesi, California State Üniversitesi, George Washington Üniversitesi, Yale Üniversitesi, Youngstown Üniversitesi, Edinburgh Üniversitesi, Münih Teknoloji Üniversitesi, Oxford Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesi) yapılan çalışmalar incelenerek en uygun kampüs bilgi sistemi altyapısının nasıl oluşturulacağına ve hangi katmanlardan oluşacağına karar verilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi için aşağıdaki yol izlenmiştir. Şekil 1’de tasarımı gerçekleştirilen kampüs bilgi sistemine ait akış şeması görülmektedir. Çalışmanın temel basamakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Coğrafi Bilgi Sistemi’nin ve Kampüs Bilgi Sistemi’nin incelenmesi ve gerekliliklerinin irdelenmesi,
- Sözel ve sayısal verilerin arazi ölçümleri ve birebir görüşmeler sonucunda toplanması ve CBS yazılımları ile sayısal ortamda düzenlenmesi,
- Gazi Üniversitesi Kampüs Bilgi Sisteminin (GÜKBİS) tasarımı,
- Kampüs haritalarının oluşturulması,
- Haritaların ArcInfo ortamına aktarılması ve gerekli harita altlıklarının üretilmesi,
- Veri tabanlarının oluşturulup konumsal veri ile ilişkilendirilmesi,
- Konumsal sorgulama ve analiz ile sistemin test edilmesi ve sonuçların irdelenmesi,
- Amaca uygun tematik haritaların geliştirilmesi.



Şekil 1. GÜKBİS akış şeması

3.1. Verilerin Toplanması ve Düzenlenmesi

Çalışmanın sonucunda elde edilecek sistemin altyapısını oluşturacak veri tabanı için gerekli olan katmanlar belirlenmiştir. Bu katmanlar ağaçlar, yapılar, rögarlar, yeşil alanlar, yollar, poligon kanavası, poligon noktaları ve kat planlarıdır. Her bir katmanın oluşturulması için kendi içeriğine uygun olacak şekilde gerekli sözel ve sayısal veriler arazi ölçümleri, gözlem ve görüşmelerle elde edilmiştir. Katmanlara ait sayısal verilerin elde edilmesi için üç yıl süren bir çalışma sonucunda önceden belirlenen katmanların (ağaçlar, yapılar, rögarlar, yeşil alanlar, yollar, poligon kanavası, poligon noktaları ve kat planları) ayrı ayrı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kampüse ait bilgilerin oluşturulacak temel harita altlığına girilebilmesi ve olası harita hatalarını en aza indirmek amacıyla ölçümlerle öncelikle poligon noktalarının ölçümü yapılmış ve birçok ilave poligon noktası yerleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde poligon kanavası oluşturulmuştur. Poligon kanavası üzerindeki poligon noktalarından referans alınarak ağaçlar, yapılar, rögarlar, yeşil alanlar ve yollar katmanlarının hassas bir şekilde koordinatları ölçülmüştür. Elde edilen veriler bağlantı kablosu aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmış ve ArcGIS veri yapısına uygun olacak şekilde dxf formatında dijital olarak bir araya getirilerek düzenlenmiştir. Böylece Gazi Üniversitesi kampüsünün halihazır haritası oluşturulmuştur. Ayrıca sistemin altyapısını oluşturan katmanlardan biri olan kat planları katmanı için, kampüse ait binaların mimari projeleri binaların röleve ölçümleri yapılarak bilgisayar ortamında sayısallaştırılmıştır. Ölçümler yapılırken hata yapmamak için yapıların

koordinatlarından pencere kenarlarına koordinat taşıma işlemi yapılarak kat planları bütünleştirilmiştir. Sistemin sözel veri tabanını oluşturmak için de her katmana ait sözel veriler yetkili kişilerle görüşmelerle ve birebir gözlemlerle uzman görüşleri doğrultusunda elde edilmiştir. Verilerin toplanması aşamasında izlenen yol Tablo 1’de özetlenmiştir.

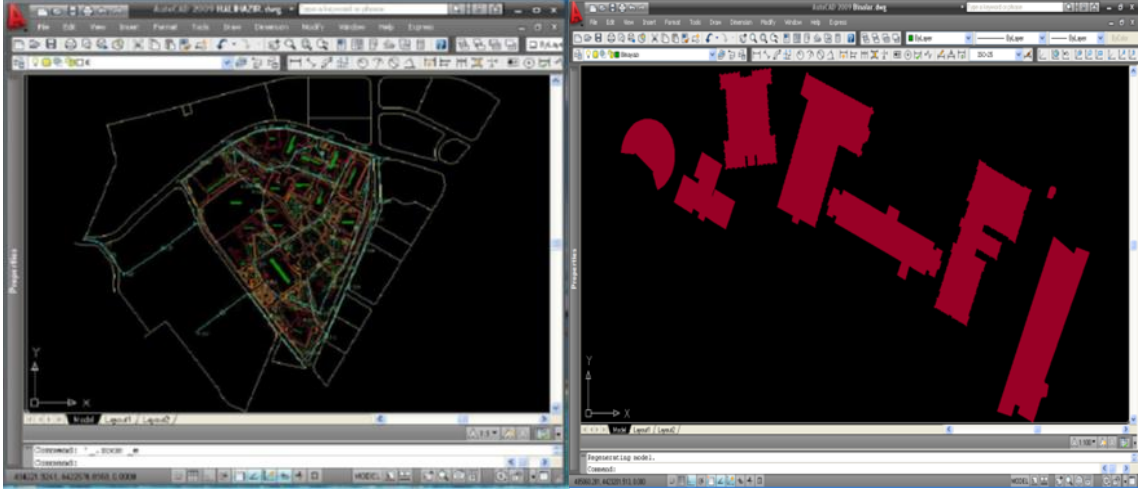
Tablo 1. Veri toplama aşaması

Katmanlar ve Elde Edilen Veriler		Yöntem	Veri formatı	Sayısal Veri	Sözel Veri
Yapılar	Köşe Koordinatları	Yeryüzünde yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Yetkili merci ile görüşme, Gözlem	xls		x
Kat Planları	Çizimler	Geleneksel Ölçüm	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Yetkili merci ile görüşme, Gözlem	doc		x
Ağaçlar	Koordinatları	Yeryüzünde yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Gözlem	xls		x
Rögar	Koordinatları	Uydulardan faydalanarak yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Gözlem	xls		x
Poligon Kanavası	Noktalarının Koordinatları	Uydulardan faydalanarak yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Gözlem	doc		x
Poligon	Noktalarının Koordinatları	Uydulardan faydalanarak yapılan ölçümler	dxf	x	
	Noktalarının Röperleri	Ölçüm	pdf	x	
	Noktaların Öznelik Bilgileri	Gözlem	doc		x
Yollar	Aksı	Uydulardan faydalanarak yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Gözlem	doc		x
Yeşil alan	Köşe Koordinatları	Uydulardan faydalanarak yapılan ölçümler	dxf	x	
	Öznelik Bilgileri	Gözlem	doc		x

Tablo 1’de ana başlıklar altında sıralanan dosya uzantıları oluşturulmuştur. Bu düzenlemenin temel amacı, CBS yazılım araçlarından ArcGIS programının en temel özelliklerinden olan nokta (point), yekpare çizgi (polyline) ve alan (polygon) veri altyapısına göre tanımlanmış olmasıdır.

3.2. Verilerin Düzenlenmesi ve Katmanların Oluşturulması

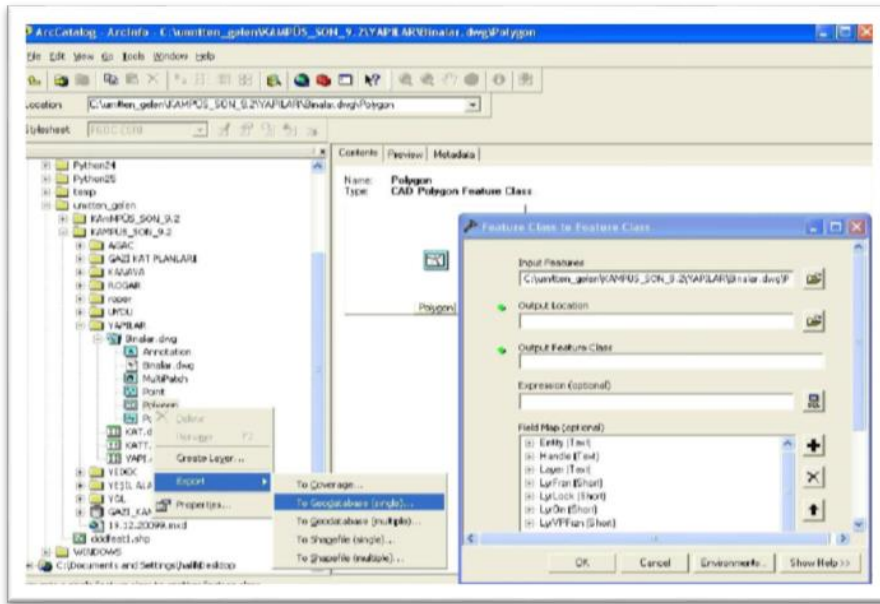
Yeryüzünde yapılan ölçümler ve uydulardan faydalanarak yapılan ölçüm yöntemleri ile elde edilen veriler çizim programına aktararak Gazi Üniversitesi kampüsüne ait halihazır harita elde edilmiştir. Sistemin altyapısını oluşturacak katmanları meydana getirmek için halihazır haritadan faydalanarak her bir katman (ağaçlar, yapılar, rögarlar, yeşil alanlar, yollar, poligon kanavasası ve poligon noktaları) için gerekli veriler saklanmış diğer gereksiz veriler temizlenmiştir. ArcGIS yazılımı verileri “nokta, yekpare çizgi ve alan” altyapılarından oluştuğu için katmanlar Şekil 2’de verildiği gibi ayrı ayrı dxf uzantılı bir dosya olacak şekilde çizim programında düzenlenmiştir. Ayrıca sistemin diğer bir katmanı olan ölçümleri ve çizimleri yapılan binalara ait kat planları ArcInfo programına veri girişini sağlayacak şekilde bilgisayar ortamında düzenlenerek dxf formatına dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Düzenleme öncesi ve sonrası

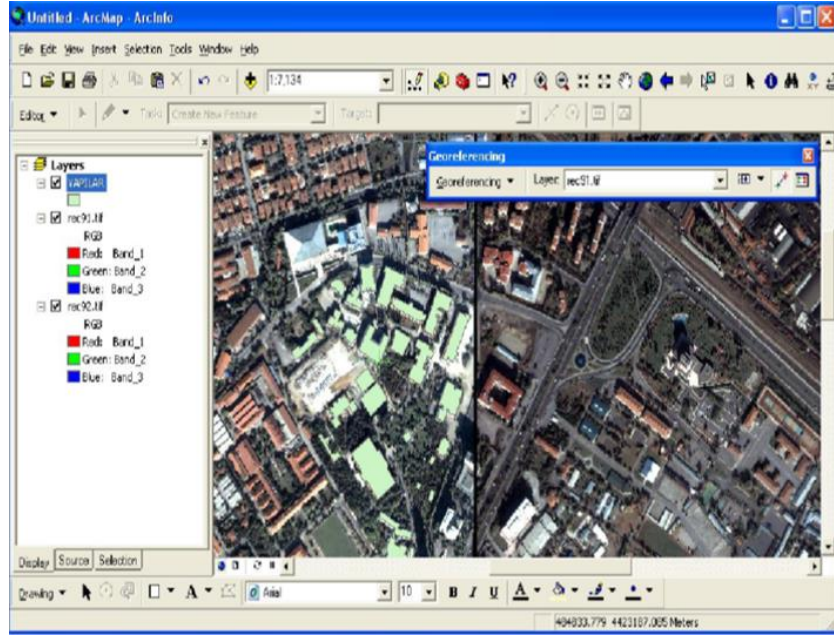
3.3. CBS Ortamına Aktarılması ve Gerekli Harita Altlıklarının Üretilmesi

Elde edilen veriler ArcGIS teknolojisinde yer alan ArcView, ArcEditor ve ArcInfo yazılımları ile doğrudan görüntülenebilmektedir. Vektör veri yapısının ArcGIS veri formatlarına dönüştürülmesinde farklı yöntemler tercih edilebilmektedir. Çizim programlarının altyapısı gereği, nokta (point), bütünleşik çizgi (polyline), alan (polygon) oluşturulması ve CBS tabanlı programlara entegre edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada AutoCAD yazılımında üretilen vektör veriler ArcGIS veri formatına (shapefiles) ArcCatalog aracılığıyla dönüştürülmüştür (Şekil 3). Temel olarak öznitelik bilgilerinin bulunduğu dosyalar CAD dosyalarından farklı olarak öznitelik bilgileri içermektedir. Böylece çizim programlarından farklı olarak analiz ve raporlama imkânı bulunmaktadır.



Şekil 3. ArcCatalog yazılımı arayüzü

Projenin görselliğini arttırmak için Gazi Üniversitesi Kampüsünü içine alan uydu fotoğrafı alınmıştır (Şekil 4). Koordinatların eşleştirilmesi uydu fotoğrafı üzerindeki koordinatı belli noktaların, aynı yerde çakıştırılması ile gerçekleştirilmektedir. Uydu fotoğrafının koordinatlı bir şekilde CBS altyapısına işlenmesi dikkat edilmesi gereken hassas bir işlemdir. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde hatalı bir uygulama yapılmaması için, noktaların belirlenmesinde dikkatli ve sabırlı bir çalışma yapılmıştır. Uygulama sonrasında, oluşan karekök hatasının (RMS) kabul edilebilir sınır değerler içinde olması önem arz etmektedir. Eğer uygulama sonrasında ortaya çıkan RMS hatası büyükse yeniden gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4. Uydu fotoğrafının ölçeklendirilmesi

3.4. ArcGIS Ortamında Kampüs Bilgi Sisteminin Oluşturulması

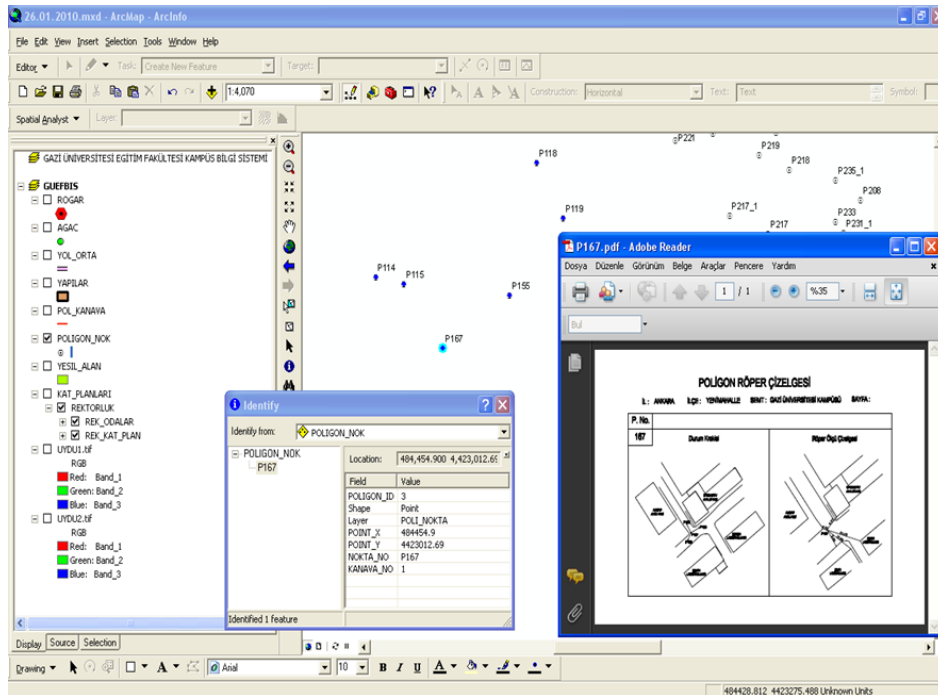
Bu aşamaya kadar yapılan işlemler kampüs bilgi sisteminin grafik altyapısını oluşturmuştur. Bu aşamadan sonra kampüs bilgi sisteminin sözel (öznitelik) altyapısı hazırlanmıştır. Şekil 5'te gösterildiği gibi oluşturulan tüm tabakalar için bir tablo hazırlanmıştır. Tablolar Record (sıra) ve Field (Sütun) alanlarından oluşmuştur. Katmandaki her bir grafik objeye ait bir sıra vardır. Her bir objenin sözel verilerinden elde edilen farklı öznitelik bilgi ve değerlerinin bulunduğu bir sütun vardır. Örneğin yapılar adlı katmanda her bina için "Polygon" olarak isimlendirilen bir alansal objeye ait bir sıra bulunmaktadır. Her binanın kampüs bilgi sistemi kapsamında sunulması istenen her türlü öznitelik bilgisi için bir sütun olması gerekmektedir. ToolToolBar'daki Identify Butonu ile istenilen nesne veya objelerin öznitelik bilgileri Identify Results penceresinde görüntülenir (Yomralıoğlu, 2000; Kol ve Küpcü, 2008).

YAPI_ID	Shape	Shape_Le	YAPIL_ALAN	YAP_YUK	YAPIM_YILI	KUL_AMACI	YAPIADI	YAPI_TIPI
1	Polygon	18.63	21.29	3.00	<Null>	GUVENLIK	GUVENLIK_KULUBE_BORIS	KAGIR
2	Polygon	323.99	5063.2	17.00	<Null>	IDAR_DERSLIK_LAB	REKTORLUK	EETONARIME
3	Polygon	173.14	546.03	7.00	<Null>	KRES	GAZI_KRES	EETONARIME
4	Polygon	34.5.2	1622.23	9.00	<Null>	SPOR_DERSL.K	BEDEN_EGITIMI	EETONARIME
5	Polygon	56	167.94	5.00	<Null>	KULTUR	ARCEO	EETONARIME
6	Polygon	13.71	11.7	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	EETONARIME
7	Polygon	47.77	120.21	5.00	<Null>	KULTUR	KIR_EVI	AHSAP
8	Polygon	112.38	586.91	8.00	<Null>	SPOR	GUDAK	EETONARIME
9	Polygon	94.42	-527.89	6.00	<Null>	KULTUR	ANFI_TYATRO	EETONARIME
11	Polygon	251.1	1275.06	19.00	<Null>	DERSLIK	EGT_F_BLOK	EETONARIME
12	Polygon	247.92	2080.52	10.00	<Null>	IDARE_SAGLIK_KULTU	MEDIKO	EETONARIME
13	Polygon	227.8	1284.26	17.00	<Null>	IDAR	FEN_EDEBIYAT_DEKANLIK	EETONARIME
14	Polygon	345.24	1871.22	17.00	<Null>	LAB	FEN_EDEBIYAT_LAB	EETONARIME
15	Polygon	246.19	2026.19	16.00	<Null>	DERSLIK	RESIM_EGITIMI	EETONARIME
16	Polygon	262.16	1836.18	17.00	<Null>	DERSLIK	EGT_C_BLOK	EETONARIME
17	Polygon	141.11	1124.72	9.00	<Null>	DERSLIK	EGT_D_BLOK	EETONARIME
18	Polygon	167	1717.16	0.00	<Null>	SPOR	TENIS_KORTU	EETONARIME
19	Polygon	120.8	807.09	0.00	<Null>	SPOR	BASKET_SAHASI	EETONARIME
20	Polygon	205.83	933.1	8.00	<Null>	DERSLIK	MUZIK_EGITIM_BOLUMU	EETONARIME
21	Polygon	195.85	1768.15	8.00	<Null>	KULTUR	KONSER_SALONU	EETONARIME
22	Polygon	149.06	888.78	12.00	<Null>	DERSLIK	EGT_L_BLOK	EETONARIME
23	Polygon	244.38	2029.28	19.00	<Null>	KUTUPHANE	KUTUPHANE	EETONARIME
24	Polygon	89.41	485.12	11.00	<Null>	KANTIN_KULTUR	MAVI_EV	EETONARIME
26	Polygon	161.16	824.11	10.00	<Null>	EGITIM	GORME_ENGELLILER_OKULU	EETONARIME
27	Polygon	83	317.23	10.00	<Null>	EGITIM	GORME_ENGELLILER_OKULU	EETONARIME
29	Polygon	302.85	2142.22	17.00	<Null>	DERSLIK	FEN_EDEBIYAT_DERSL.K	EETONARIME
30	Polygon	18.58	22.63	3.00	<Null>	GUVENLIK	GUVENLIK_KULUBE_AGRIS	EETONARIME
31	Polygon	18.4	17.84	3.00	<Null>	TRAFD	TRAFD	EETONARIME
32	Polygon	33	66.49	3.00	<Null>	TRAFD	TRAFD	EETONARIME
33	Polygon	150.1	703.81	15.00	<Null>	DERSLIK	EGT_K_BLOK	EETONARIME
34	Polygon	33.49	63.29	3.00	<Null>	SPOR	SPOR_KULUBE	EETONARIME
35	Polygon	36.79	77.77	3.00	<Null>	KANTIN	SPOR_KANTIN	EETONARIME
36	Polygon	53.69	152.29	6.00	<Null>	KULTUR	MUZIK_EK	EETONARIME
37	Polygon	60.12	225.88	0.00	<Null>	HAVUZ	HAVUZ	EETONARIME

Şekil 5. Yapılara ait tablo

3.5. Sorgulama Yapılması

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde sorgulama işlemi sözel veriden grafik veriye ya da grafik veriden sözel veriye doğru çift taraflı analiz yapılabilir. Sonuç olarak CBS, farklı özelliklere sahip veriler (grafik ve grafik olmayan) birbirleri ile bütünlük olarak sorgulanmasına ve analizine olanak sağlamaktadır.



Şekil 6. GÜKBİS'teki katmanların sorgulanması

Şekil 6'da GÜKBİS'te oluşturulan katmanların (binalar, rögarlar, ağaçlar, yeşil alanlar gibi) her biri için ayrı ayrı grafik verilerinden sorgulama yapılarak sözel veriler elde edilmiştir. Sözel verilerden de yola çıkarak grafik verisi elde edilebilmektedir. Sorgulama ve analiz yoluyla veriler arası ilişkilerin kurularak görsel, şematik ve işlevsel bilgilere hızlı kolay ve ekonomik olarak ulaşılabilirliktedir. Yapılan bu çalışma ile karar verme süreci hızlandırılmıştır. Harita tabanlı bir çalışma altyapısı sayesinde konumsal problemlerin uzaktan çözülebildiği ve karar verilebildiği bir sistem elde edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Kampüs Bilgi Sistemlerinde; verilerin doğru elde edilmediğinde, bu verilerin sisteme doğru girilmediğinde ve analizlerin doğru yapılmadığında elde edilecek her türlü sonuç yanlış ve eksik olacaktır. Bu nedenle veri toplamadan raporlamaya kadar tüm süreçlerde iyi planlama ve etkin analizler kullanılmalıdır. Bu tür çalışmalarda sürecin doğru ilerlemesinin yanında her türlü değişikliğin kolay ve doğru bir şekilde entegre edilebilir olması gerekmektedir.

Çalışma gerçekleştirilen CBS tabanlı kampüs bilgi sistemi bünyesinde bulunan çok sayıda farklı veriyi harita tabanlı olarak analiz ve raporlama imkânı sunmaktadır. Böylece sistemin genel özellikleri ortaya konulmuştur. Kampüs içerisindeki detaylara ait grafik veriler ile öznitelik (sözel) verilerin birleştirilmesi sağlanmış olup, mevcut verilerden istenilen amaçlara yönelik analizler gerçekleştirilebilmekte ve tematik haritalar üretilebilmektedir. Gazi Üniversitesi kampüsü içerisinde fiziksel planlamaya altlık oluşturacak bir pilot proje üretilmiştir. Bu uygulama sayesinde idareciler, personel ve öğrenciler; kampüsteki binalar, sınıflar ve diğer mekanlar hakkında ayrıntılı bilgiler edinebileceklerdir. Bu bilgiler kullanılarak daha etkin planlama, sunum ve analizler gerçekleştirilebilecektir. GÜKBİS, kampüs içerisindeki bu kullanıcılara etkin karar destek imkânı sağlayabilir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile Gazi Üniversitesi Beşevler kampüsüne sürdürülebilir bir bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım, gerekli yazılım ve donanım desteği sağlanarak istenildiği takdirde interaktif olarak kullanıma sunulabilir. GÜKBİS'in tüm fonksiyonları yerine getirmesi için sürekli güncellenmesi ve bu sistem için teknik personel görevlendirilmesi sistemin sürdürülebilirliği için önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan (Proje No: 07/2009-37 Gazi Üniversitesi Kampüs Bilgi sisteminin Oluşturulması) Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne, projenin imkân ve olanaklarından faydalanma olanağı bulduğumuz için sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Alshuwaikhat HM., Abubakar IR., Aina YA., Adenle YA., Umair M. The development of a GIS-based model for campus environmental sustainability assessment. *Sustainability* 2017; 9(3): 439.
- Bascompta M., Castañón AM., Sanmiquel L., Oliva J. A GIS-based approach: influence of the ventilation layout to the environmental conditions in an underground mine. *Journal of Environmental Management* 2016; 182: 525-530.
- Bilgilioğlu SS., Erdem E., Fıçıcı EC., Şeker DZ. İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa yerleşkesi 3 boyutlu kampüs bilgi sistemi tasarımı. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* 2011; 104(1): 36-40.
- Büke CO. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı ağ analizi ve 4 boyutlu bir uygulama: Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüsü (SAUBİS) örneği. *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no: 9-33, Sakarya, Türkiye, 2016.
- Cobarsí J., Bernardo M., Coenders G. Campus information systems for students: classification in Spain, *Campus-Wide Information Systems* 2008; 25(1): 50-64.
- Deniz A., Güngör Ş. Mapping with unmanned aerial vehicles systems: A case study of Nevsehir Hacı Bektas Veli University Campus. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 2020; 6(1): 27-32.
- Huabin W., Gangjun L., Weiya X., Gonghui W. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography* 2005; 29(4): 548-567.
- Huang J., Zhan Y., Cui W., Yuan Y., Qi P. Development of a campus information navigation system based on GIS. Paper presented at the 2010 International Conference On Computer Design and Applications, 25-27 Haziran 2010, pp: 491-494, Çin.
- Huang W., Sun M., Li S. A 3D GIS-based interactive registration mechanism for outdoor augmented reality system. *Expert Systems with Applications*: 2016; 55: 48-58.
- İneç ZF., Akpınar E. İnternet tabanlı bir coğrafi bilgi sistemi uygulaması: seyyah. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2012; 14(2): 111-130.
- Kol Ç., Küpcü S. ArcGIS 3D analiz. Ankara: Sinan Ofset Matbaacılık; 2008
- Kumar S., Bansal VK. GIS-based locational evaluation of infrastructure facilities in hilly regions: a case study of an institute campus. *International Journal of Construction Management* 2021; 21(11): 1165-1184.
- Malhotra R., Kumar D., Gupta DP. An android application for campus information system. *Procedia Computer Science* 2020; 172: 863-868.

- Muthanna TM., Sivertsen E., Kliewer D., Jotta L. Coupling field observations and geographical information system (GIS)-based analysis for improved sustainable urban drainage systems (SUDS) performance. *Sustainability* 2018; 10(12): 4683.
- Narulita S., Zain AFM., Prasetyo LB. Geographic information system (GIS) application on urban forest development in Bandung city. *Procedia Environmental Sciences* 2016; 33: 279-289.
- Natarajan K., Käyrä PL., Zyadin A., Pelkonen P. New methodological approach for biomass resource assessment in India using GIS application and land use/land cover (LULC) maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 63: 256-268.
- Peragón JM., Pérez-Latorre FJ., Delgado A. A GIS-based tool for integrated management of clogging risk and nitrogen fertilization in drip irrigation. *Agricultural Water Management* 2017; 184: 86-95.
- Seenath A., Wilson M., Miller K. Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management. *Ocean & Coastal Management* 2016; 120: 99-109.
- Tecim V., Aydın C., Tarhan Ç., Aşan H., Komesli M. Üniversitelerde akıllı kampüs uygulamaları için altyapı sistemi oluşturulması. *Journal of Research in Business* 2021; 7(IMISC 2021 Special Issue): 132-147.
- Tiryakioğlu İ., Erdoğan S. Afyon Kocatepe Üniversitesi kampüs bilgi sistemi. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 6-9 Ekim 2004, sayfa no:6-9, İstanbul.
- Wong NH., Jusuf SK. GIS-based greenery evaluation on campus master plan. *Landscape and Urban Planning* 2008; 84(2): 166-182.
- Yomralıoğlu T. Coğrafi bilgi sistemleri: Temel kavramlar ve uygulamalar 2000. 2.Baskı, s.480, ISBN 975-97369-0-X, İstanbul.
- Yurt Ü., Tabanoğlu M., Genç Ö. Coğrafi bilgi sistemleri ile gayrimenkul değer tespiti: Düzce örneği. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 2016; 5(2): 220-228
- İnternet: Texas A&M Üniversitesi” <https://map.concept3d.com/?id=1901#!ct/52170> (2022).
- İnternet: Abilene Christian Üniversitesi” <https://acu.widen.net/s/vnftc2wdr5/acu-campus-map-7.22> (2022).
- İnternet: Berkeley Üniversitesi. <http://www.berkeley.edu/map/> (2022).
- İnternet: California State Üniversitesi, Bakersfield. <https://maps.csub.edu/?id=1963#!ct/58474,57443,56863,56862,56872> (2022).
- İnternet: California State Üniversitesi, Chico. <http://www.csuchico.edu/community/map> (2022).
- İnternet: George Washington Üniversitesi. https://virtualtour.gwu.edu/virtual-tour-map#ctdl-UMAP_2013090529031 (2022).
- İnternet: Yale Üniversitesi. <http://www.yale.edu/campusmap/> (2022).
- İnternet: Youngstown Üniversitesi. <https://ysu.edu/campus-map> (2022).
- İnternet: Edinburgh Üniversitesi. <http://www.ed.ac.uk/> (2022).

İnternet: M¼nih Teknoloji ¼niversitesi. <http://portal.mytum.de/campus/> (2022).

İnternet: Oxford ¼niversitesi. <https://www.ox.ac.uk/visitors/map> (2022).

İnternet: Boğaziçi ¼niversitesi. <https://harita.boun.edu.tr/> (2022).

İnternet: İstanbul Teknik ¼niversitesi. <https://www.itu.edu.tr/> (2022).

Investigation of *Wolbachia* Bacteria in Different Insect Taxa

Tayfun KAYA^{1*}

¹Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Environmental Engineering, 40100, Kırşehir

¹<https://orcid.org/0000-0001-9086-4520>

*Correspondence author: tkaya@ahievran.edu.tr

Research Article

Article History

Received: 30.05.2022

Accepted: 08.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Wolbachia

P. irritans

E. ovulum

L. distinguendus

D. melanosgaster

B. tabaci

ABSTRACT

Arthropods are the most common living species considering their population densities and distribution. However, due to the increasing world population and drought due to global warming, it is necessary to develop environmentally friendly and effective alternative strategies in terms of both health and agricultural production, especially in the fight against harmful species. In this context, *Wolbachia* is promising monitoring the effects of global warming due to its relations with its hosts. However, the symbiotic structure in arthropods varies with differences such as climate, geography and ecosystem. In this study, *Wolbachia* infection was investigated in insects that differ in their living conditions, hosts and ecological niches: *Drosophila melanosgaster* (Diptera: Drosophilidae), *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), *Pulex irritans* (Siphonaptera: Pulicidae), *Eusomus ovulum* (Coleoptera: Currioculionidae) and *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Wolbachia* was screened with a specific *Wspec* F/R primer set and identified according to the sequence data of the obtained PCR products. *Wolbachia* was observed to have a widespread incidence in the species studied. A supergroup *Wolbachia* was found in fleas, fruit fly and *E. ovulum*, and B supergroup *Wolbachia* in parasitoid bees and whiteflies. This is the first study in Turkey to report the presence of *Wolbachia* in *E. ovulum*, and it is thought that the data presented here will contribute to future studies.

Farklı Böcek Taksonlarında *Wolbachia* Bakterisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.05.2022

Kabul tarihi:08.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Wolbachia

P. irritans

E. ovulum

L. distinguendus

D. melanosgaster

B. tabaci

ÖZ

Eklembacaklılar, popülasyon yoğunlukları ve dağılımları göz önüne alındığında en yaygın canlı türüdür. Ancak artan dünya nüfusu ve küresel ısınmaya bağlı kuraklık nedeniyle hem sağlık hem de tarımsal üretim açısından özellikle zararlı türlerle mücadelede çevre dostu ve etkili alternatif stratejiler geliştirmeye yönelik çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda *Wolbachia*, küresel ısınmanın etkilerinin izlenmesinde konak olarak kullandıkları canlılarla olan ilişkileri nedeniyle umut vericidir. Ancak eklembacaklılardaki simbiyotik yapı iklim, coğrafya ve ekosistem gibi farklılıklara göre değişmektedir. Bu çalışmada yaşam koşulları, konukçuları ve ekolojik nişleri bakımından farklı böcekler olan: *Drosophila melanosgaster* (Diptera: Drosophilidae), *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), *Pulex irritans* (Siphonaptera: Pulicidae), *Eusomus ovulum* (Coleoptera: Currioculionidae) ve *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae)'da *Wolbachia* enfeksiyonu

incelenmiştir. *Wolbachia*, spesifik bir *Wspec* F/R primer seti ile taranmış ve elde edilen PCR ürünlerinin dizi verilerine göre tanımlanmıştır. *Wolbachia*'nın çalışılan türlerde yaygın bir insidansa sahip olduğu gözlemlendi. Pire, sirke sinekleri ve *E. ovulum*'da A süpergrubu, parasitoid arı ve beyazsineklerde ise B süpergrubu *Wolbachia* bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, Türkiye'de *E. ovulum*'da *Wolbachia* varlığını bildiren ilk çalışma olup, burada sunulan verilerin yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

To Cite: Kaya T. Investigation of *Wolbachia* Bacteria in Different Insect Taxa. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1733-1743.

1. Introduction

Wolbachia is a maternally inherited obligate intracellular gram-negative endosymbiotic bacterium (Werren and Windsor, 2000). *Wolbachia* is found in arthropods (40-66% of all insect species (Hilgenboecker et al., 2008; Zug and Hammerstein, 2012; Tolley et al., 2019) and filarial nematodes (Taylor and Hoerauf, 1999). Considering the population densities and distributions of insects, *Wolbachia* is regarded as the most successful (Laidoudi et al., 2020) and the most common living species in the terrestrial ecosystem (Hilgenboecker et al., 2008; Zug and Hammerstein, 2012). *Wolbachia* can be seen in host somatic and reproductive tissues (Zouache et al., 2009) and in host phenotype (Werren, 1997), defense (Hamilton and Perlman, 2013; Zhang et al., 2020), nutrition (Bi and Wang, 2020), biology (Werren, 1997; Bi and Wang, 2020) and pathogenicity (Johnson, 2015). The most important and remarkable feature is that it affects the sex ratio of the host and thus the population structure by manipulating the reproduction of its host. It does this through cytoplasmic incompatibility, promoting parthenogenesis, induction of feminization, and malekilling (Breeuwer and Werren, 1990; Werren, 1997; Hurst et al., 1999; Weeks and Breeuwer, 2001). This can be particularly useful in the development of alternative strategies for the biological control of pests (Bourtzis, 2008; Hancock et al., 2011; Pagendam et al., 2020).

Wolbachia is transmitted mainly vertically from parents to offspring transovarially in insects (Guo et al., 2018). However, it is also transferred horizontally between phylogenetically distant taxa (Werren et al., 1995; Ahmed et al., 2013, 2015; Tolley et al., 2019), such as excretion, injury (Rigaud and Juchault, 1995) or interaction between hosts (like parasitoid-host relationship) (Vavre et al., 1999; Tjisse-Klasen et al., 2011; Le Clec'h et al., 2013; Brown and Lloyd, 2015). According to some studies, this transfer ability provides various advantages to its hosts and also plays a role in speciation (Werren, 1997; König et al., 2015; Bruzzese et al., 2021; Aikawa et al., 2022). On the other hand, *Wolbachia* is also genetically diversified (Lefoulon et al., 2020). So that there are seventeen monophyletic lineages ("supergroups" A to T) of *Wolbachia* (Lefoulon et al., 2020; Laidoudi et al., 2020). Although supergroups are controversial (Baldo and Werren, 2007; Gerth et al., 2014), A and B supergroup *Wolbachia* are generally seen in arthropods (Lo et al., 2002).

In addition to these, it has been reported that especially harmful species have moved to the north and higher region due to global warming and its consequences in recent years. This situation creates risk in

terms of human health and agricultural products. Therefore, the detection of *Wolbachia* diversity in pests of medical and agricultural importance has been quite current and is screened in different geographies (Mazur et al., 2016; Li et al., 2017; König et al., 2019; Onder et al. al., 2019; Hou et al., 2020; İpekdal and Kaya, 2020; Pagendam et al., 2020; Madhav et al., 2020). As a matter of fact, the symbiotic structure of insects can show differences in populations of the same species in different geographies with the effect of various factors such as climate and isolation. In this context, Turkey is remarkable geography with conditions suitable for the spread of insect species, and diversity of wild species and is on a migration route (for example, migratory birds). It is also a corridor for the expansion of the spread of insects on the Africa-Middle East-Eurasia-Europe route (Inci et al., 2016). From this point of view, this study aimed to examine *Wolbachia* bacterium in taxa that are phylogenetically distant from each other and have different ecological niches.

2. Material and Method

2.1. Insect samples

The insects examined in the study were sampled from Kırşehir. Sample details are given in Table 1. In this context, fleas, parasitoid bees, beetles, fruit fly and whiteflies were collected. The samples were washed directly in situ with 70% alcohol, rinsed with distilled water, and then stored in alcohol at -20 °C until working. Flea, parasitoid bee, vinegar fly and whitefly were identified by PCR method. The beetle, on the other hand, was defined according to its morphological features using a dissecting microscope (Marvaldi et al., 2018).

Table 1. Details of the location, hosts and ecological niches of the studied arthropods.

Locality	Coordinates	Date collection	Host / Field	Ecological niche
Karaboğaz Village	38°57'20" K 34°08'49" D	November, 2020	Dog	Ectoparasite
Bahçelievler District	38°10'48" K 34°18'70" D	June, 2019	Granary	Parasitoid bee
Bahçelievler District	38°10'48" K 34°18'70" D	September, 2021	Peach	Fruit pest
Bahçelievler District	38°10'48" K 34°18'70" D	September, 2021	Bean	Plant pest, vector
Çukurçayır District	39°09'18" K 34°07'32" D	August, 2019	Clover	Plant pest

2.2. DNA extraction and PCR screening

Total DNA from insects was extracted using the CTAB method (Doyle and Doyle, 1990). Primer pair LCO1490-F and HCO2198-R subunit (*COI*) of mitochondrial cytochrome *c* oxidase I was used for the identification of fleas, parasitoid bees, vinegar flies and whiteflies (Table 2). *Wspec* (F-R) was used for screening and identification of *Wolbachia* bacteria (Table 2). Mixtures with a total volume of 20 µl were used for PCR reactions. Mixtures were prepared using 1 x PCR buffer, 10 mM each of deoxynucleoside triphosphate, 1 µM of each primer, 0.1 U of Taq DNA polymerase and amplified with 1 µl of DNA. The resulting PCR products were electrophoresed on a 1% agarose gel with

negative and positive controls (Ipekdağ and Kaya, 2020). *Wolbachia* positive *Sitophilus granarius* total DNA isolate was used as a positive control. Electrophoresed gels were evaluated using a UV Transilluminator (ThermoScientific). Samples that gave electrophoretic bands in the same position as the positive control were considered positive for the presence of *Wolbachia*.

Table 2. Primers used in studies for *Wolbachia* endosymbiont and insects and their properties (COI: mitochondrial Cytochrome *c* oxidase subunit I).

Primer	Sequence (5'-3')	Target genus and gene region	PCR product (bp)	Annealing (°C)	Reference
LCO1490-F	GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG	COI	710	52	Folmer et al., (1994)
HCO2198-R	TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA				
Wspec-F	YATACCTATTCTGAAGGGATAG	<i>Wolbachia</i>	430	53	Werren and Windsor (2000)
Wspec-R	AGCTTCGAGTGAAACCAATTC	16S rRNA			

2.3. Sequencing and Sequence Analysis

DNA sample from at least one individual from the insect species was sequenced. Bidirectional sequencing of *Wolbachia* and insect COI PCR products was performed by Macrogen (Netherlands). Dendrograms were created from the obtained sequence data to represent taxonomic data. For this, consensus sequences were obtained using the Clustal W 2.0 algorithm (Thompson et al., 1994) in BioEdit (Hall, 1999). Consensus sequences for *Wolbachia* and insects were identified in NCBI databases using BLAST (Altschul et al., 1990). In addition, *Wolbachia* consensus sequences were compared using dendrograms created by downloading (GenBank accession numbers are in Figure 1) additional sequences from NCBI databases. Dendrograms for *Wolbachia* sequences were created using the Maximum Likelihood method. Model testing was performed for each sequence set and the Kimura 2-parameter model (Kimura, 1980) (1000 copies) was used. MEGA version X (Kumar et al., 2018) was used for evolutionary analyses.

3. Results and Discussion

In this study, five species of Siphonaptera, Hymenoptera, Coleoptera and Diptera taxa collected from Kırşehir were examined (Table 2). Consensus sequences obtained from sequence data of Siphonaptera, Hymenoptera, and Diptera samples for taxonomic identification were made according to the match in GenBank databases. According to the BLAST results, the studied arthropods *Pulex irritans* (Siphonaptera: Pulicidae), *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae), *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) showed homology (Table 3). Curculionidae sample was defined as *Eusomus ovulum* (Coleoptera: Curculionidae) according to its morphological features.

Table 3. Arthropods studied, *Wolbachia* screening results and presence ratio (*pr*: *Wolbachia* positive individuals / number of individuals screened) (n: number of individuals screened).

Locality	Insect species (n)	<i>Wolbachia</i>		
		<i>pr</i>	GenBank	
			Similarity rate	Accession Number
Karaboğaz Village	<i>P. irritans</i> (12)	(0.83)	100	MK184277
Bahçelievler District	<i>L. distinguendus</i> (8)	(1.0)	100	KF598750
Bahçelievler District	<i>D. melanogaster</i> (20)	(1.0)	100	MK184277
Bahçelievler District	<i>B. tabacii</i> (20)	(1.0)	100	MN123078
Çukurçayır District	<i>E. ovulum</i> (15)	(1.0)	100	MK184277

PCR products of *Wolbachia* bacteria obtained with *wspec* F/R primer pair from *P. irritans*, *L. distinguendus*, *D. melanogaster*, *E. ovulum* and *B. tabacii* were sequenced for diagnostic and confirmation purposes. The sequence data showed 100% similarity to *Wolbachia* endosymbiont, according to analyzes in the GenBank database (Table 3). *Wolbachia* infection was found in 83% of *P. irritans* and in all of the screened individuals *L. distinguendus*, *D. melanogaster*, *E. ovulum* and *B. tabacii*, in other words, it had a widespread incidence (Table 3).

Dendograms were created using the Maximum Likelihood method and the Kimura 2-parameter model using *Wolbachia* consensus sequences obtained from *P. irritans*, *L. distinguendus*, *D. melanogaster*, *E. ovulum* and *B. tabacii* and DNA sequences downloaded from GenBank databases. Accordingly, the symbionts of *P. irritans*, *E. ovulum* and *D. melanogaster* were clustered in *Wolbachia* Supergroup A. On the other hand, *L. distinguendus* and *B. tabacii* showed homology with Supergroup B strains. (Figure 1).

This study shows the presence of endosymbiotic *Wolbachia* bacteria in five arthropods with different living conditions, hosts and biological cycles in Kırşehir (Turkey). Although its presence has been demonstrated in the species studied here before (Tuncbilek et al., 2015; Mazur et al., 2016; Inci et al., 2016; Gang et al., 2020), further studies are needed to understand the prevalence and role of the *Wolbachia* endosymbiont.

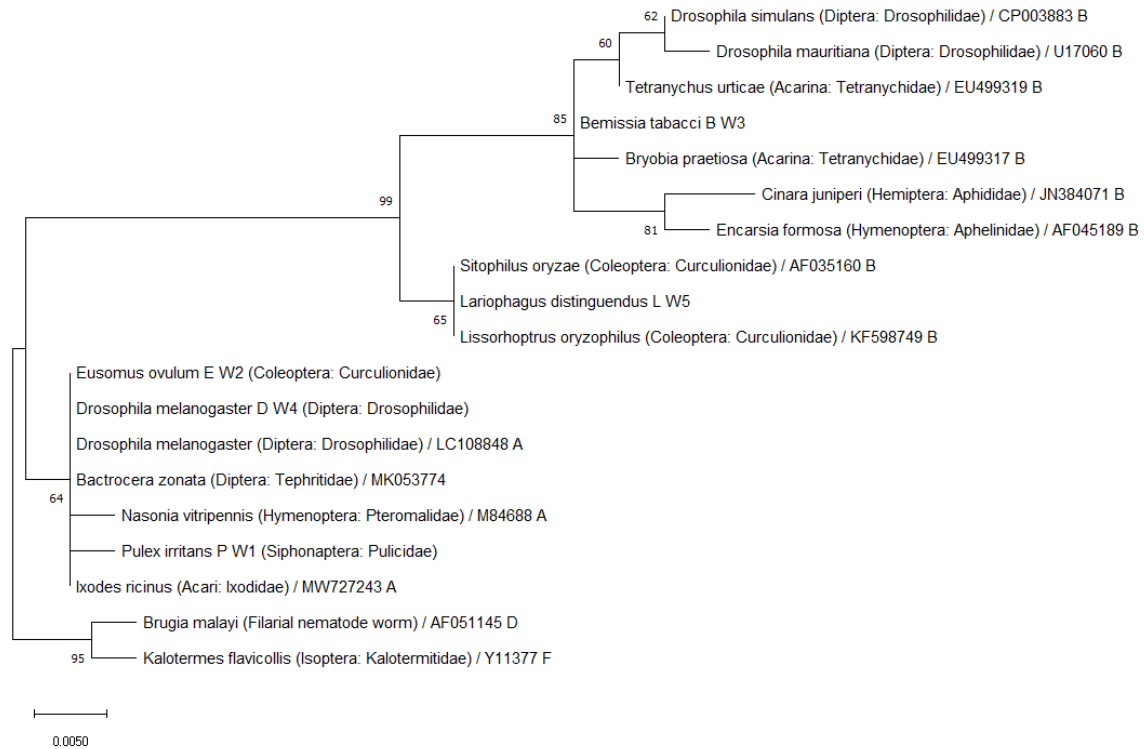


Figure 1. Maximum likelihood (ML) trees of *P. irritans*, *L. distinguendus*, *D. melanogaster*, *E. ovulum* and *B. tabacii* studied based on *Wspec*. Phylogenetic analysis was performed using consensus sequences obtained in this study and additional sequences downloaded from NCBI databases. The percentage of trees in which the relevant taxa are clustered is shown next to the branches. The last capital letter denotes the *Wolbachia* supergroup. D and F supergroups were used as outgroups.

Within the scope of the study, *Wolbachia* was detected in almost all 55 individuals from *P. irritans*, *L. distinguendus*, *D. melanogaster*, *E. ovulum* and *B. tabacii* samples, which were different in terms of phylogenetic and ecological niche. *Wolbachia* endosymbiosis in this species has been previously reported. However, the data obtained are insufficient to explain the widespread incidence of *Wolbachia*, which affects the genotype, phenotype and ecology of its host. However, the high prevalence of *Wolbachia* in the studied species may also result from examining individuals collected from a limited host (dog) or locality. However, the symbionts of insects can also vary due to nutrition, geographical conditions and/or isolation. Indeed, it has been shown that *Wolbachia* infection and its frequency within the species are geographically variable between different populations (Arthoferet al., 2009; Hughes et al., 2011; Zug and Hammerstein, 2012; Aikawa et al., 2022). The results obtained here are in agreement with previous studies of *Wolbachia* infection in five taxa and its frequency in their hosts (Oteo et al., 2014; Inci et al., 2016; Gang et al., 2020). However, *Wolbachia* infection in *E. ovulum* in Turkey was detected for the first time in this study.

On the other hand, analyzes showed supergroup A topology in hematophag *P. irritans*, parthenogenetic *E. ovulum* and fruit fly *D. melanogaster*; the parasitoid *L. distinguendus* and the pest-

vector *B. tabacii* indicate the presence of supergroup B *Wolbachia*. Although this determination was obtained with limited sequence data, it generally overlaps with the prevalence of A and B supergroup *Wolbachia* in arthropods. However, it has been observed that there are *Wolbachias* with similar homology in the taxa with which the examined species are related. For example, the symbiont of *L. distinguendus*, the parasitoid of *Sitophilus oryze* and *Lissorhoptrus oryzophilus*, have a similar topology to *Wolbachia* (Figure 1). This may not be a coincidence. Such that, this can be explained by the hosts' acquisition of *Wolbachia* through maternal inheritance as well as prey-predator, host-parasitoid, injury or contaminations between feeding meals (Gomard et al., 2021). However, more data is needed to state this definitively. On the other hand, the obtained data may contribute to the studies that will carry out the genetic differentiation in *E. ovulum* (Morozov-Leonov and Nazarenko, 2021) and the origin of *Wolbachia* in *P. irritans*.

4. Conclusion

In this study, *Wolbachia* endosymbiont was investigated in taxa that are phylogenetically distant from each other and different in niche. Considering the expansion and diversification of the distribution areas of especially harmful insect species due to global warming and drought, endosymbiotic bacteria may affect the population densities of these hosts. It is thought that the presented data will contribute to the studies to be carried out on the *Wolbachia* bacterium, which is promising especially in the fight against pests.

Conflict of Interest Statement

As the author of the article, I declare that there is no conflict of interest.

Statement of Contribution to the Study

As the author of the article, I declare that the design, sample collection, laboratory studies and analysis and writing of this study were done by me.

References

- Arthofer W., Riegler M., Schneider D., Krammer M., Miller WJ. Hidden *Wolbachia* diversity in field populations of the European cherry fruit fly, *Rhagoletis cerasi* (Diptera, Tephritidae). *Molecular Ecology* 2009; 18: 3816-3830.
- Ahmed MZ., De Barro PJ., Ren SX., Greeff JM., Qiu BL. Evidence for horizontal transmission of secondary endosymbionts in the *Bemisia tabaci* Cryptic Species Complex. *PLoS One* 2013; 8: e53084.
- Ahmed MZ., Li SJ., Xue X., Yin XJ., Ren SX., Jiggins FM., Qiu BL. The intracellular bacterium *Wolbachia* uses parasitoid wasps as phoretic vectors for efficient horizontal transmission. *PLOS Pathogens* 2015; 11(2): e1004672.

- Aikawa T., Maehara N., Ichihara Y., Masuya H., Nakamura K., Anbutsu H. Cytoplasmic incompatibility in the semivoltine longicorn beetle *Acalolepta fraudatrix* (Coleoptera: Cerambycidae) double infected with *Wolbachia*. *Plos one* 2022; 17(1): e0261928.
- Altschul SF., Gish W., Miller W., Myers EW., Lipman DJ. Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology* 1990; 215(3): 403e410.
- Baldo L., Werren JH. Revisiting *Wolbachia* supergroup typing based on WSP: spurious lineages and discordance with MLST. *Current microbiology* 2007; 55(1): 81-87.
- Bi J., Wang YF. The effect of the endosymbiont *Wolbachia* on the behavior of insect hosts. *Insect science* 2020; 27(5): 846-858.
- Bourtzis K. *Wolbachia*- based technologies for insect pest population control. "In: *Transgenesis and the Management of Vector-Borne Disease. Advances in Experimental Medicine and Biology.* (ed) Aksoy, S., 627. Springer, New York; 2008.
- Breeuwer JA., Werren JH. Microorganisms associated with chromosome destruction and reproductive isolation between two insect species. *Nature* 1990; 346(6284): 558-560.
- Brown AN., Lloyd VK. Evidence for horizontal transfer of *Wolbachia* by a *Drosophila* mite. *Experimental and Applied Acarology* 2015; 66: 301–311.
- Bruzzese DJ., Schuler H., Wolfe TM., Glover MM., Mastroni JV., Doellman MM., Feder JL. Testing the potential contribution of *Wolbachia* to speciation when cytoplasmic incompatibility becomes associated with host-related reproductive isolation. *Molecular Ecology* 2021; 00: 1–16.
- Doyle JJ., Doyle JL. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 1990; 12: 13-15.
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 1994; 3: 294-299.
- Gang LIU., Shuo ZHAO., Hornok S., Meihua YANG., Hazihan W., Xinli GU., Yuanzhi WANG. *Rickettsia aeschlimannii* and *Wolbachia* endosymbiont in *Ctenocephalides canis* from *Eurasian lynx* (*Lynx lynx*) Near the China-Kazakhstan Border. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2020; 26(5): 711-715.
- Gerth M., Gansauge MT., Weigert A., Bleidorn C. Phylogenomic analyses uncover origin and spread of the *Wolbachia* pandemic. *Nature Communications* 2014; 5(1): 1-7.
- Gomard Y., Flores O., Vittecoq M., Blanchon T., Toty C., Duron O., McCoy KD. Changes in bacterial diversity, composition and interactions during the development of the seabird tick *Ornithodoros maritimus* (Argasidae). *Microbial Ecology* 2021; 81(3): 770-783.
- Guo Y., Hoffmann AA., Xu XQ., Mo PW., Huang HJ., Gong JT., Hong XY. Vertical transmission of *Wolbachia* is associated with host vitellogenin in *Laodelphax striatellus*. *Frontiers in Microbiology* 2018; 9: 2016.
- Hamilton PT. Perlman SJ. Host defense via symbiosis in *Drosophila*. *PLoS Pathog* 2013; 9(12): e1003808.

- Hancock PA., Sinkins SP., Godfray HCJ. Strategies for introducing *Wolbachia* to reduce transmission of mosquito-borne diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 2011; 5(4): e1024.
- Hilgenboecker K., Hammerstein P., Schlattmann P., Telschow A., Werren JH. How many species are infected with *Wolbachia*?—a statistical analysis of current data. *FEMS Microbiology Letters* 2008; 281(2): 215-220.
- Hou HQ., Zhao GZ., Su CY., Zhu DH. *Wolbachia* prevalence patterns: horizontal transmission, recombination, and multiple infections in chestnut gall wasp-parasitoid communities. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2020; 168(10): 752-765.
- Hughes GL., Allsopp PG., Brumbley SM., Woolfit M., McGraw EA. Variable infection frequency and high diversity of multiple strains of *Wolbachia pipientis* in *Perkinsiella planthoppers*. *Applied and Environmental Microbiology* 2011; 77: 2165-2168.
- Hurst GD., Jiggins FM., Hinrich Graf von der Schulenburg J., Bertrand D., West SA., Goriacheva II., Majerus ME. Male-killing *Wolbachia* in two species of insect. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 1999; 266(1420): 735-740.
- Inci A., Yıldırım A., Düzlü O., Doganay M., Aksoy S. Tick-borne diseases in Turkey: A review based on one health perspective. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 2016; 10(12): e0005021.
- İpekdal K., Kaya T. Screening stored wheat beetles for reproductive parasitic endosymbionts in central Turkey. *Journal of Stored Products Research* 2020; 89: 101732.
- Johnson K. The impact of *Wolbachia* on virus infection in mosquitoes. *Viruses* 2015; 7(11): 5705-5717.
- Kimura M. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution* 1980; 16: 111e120.
- König K., Krimmer E., Brose S., Gantert C., Buschlüter I., König C., Steidle JL. Does early learning drive ecological divergence during speciation processes in parasitoid wasps?. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2015; 282(1799): 20141850.
- König K., Zundel P., Krimmer E., König C., Pollmann M., Gottlieb Y., Steidle JL. Reproductive isolation due to prezygotic isolation and postzygotic cytoplasmic incompatibility in parasitoid wasps. *Ecology and Evolution* 2019; 9(18): 10694-10706.
- Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. Mega X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* 2018; 35: 1547e1549.
- Laidoudi Y., Lévassieur A., Medkour H., Maaloum M., Ben Khedher M., Sambou M., Mediannikov O. An Earliest endosymbiont, *Wolbachia massiliensis* sp. nov., Strain PL13 from the bed bug (*Cimex hemipterus*), type strain of a new supergroup T. *International Journal of Molecular Sciences* 2020; 21(21): 8064.

- Le Clec'h W., Chevalier FD., Genty L., Bertaux J., Bouchon D., Sicard M. Cannibalism and predation as paths for horizontal passage of *Wolbachia* between terrestrial isopods. *PLoS one* 2013; 8: e60232.
- Lefoulon E., Clark T., Borveto F., Perriat-Sanguinet M., Moulia C., Slatko BE., Gavotte L. Pseudoscorpion *Wolbachia* symbionts: diversity and evidence for a new supergroup S. *BMC Microbiology* 2020; 20(1): 1-15.
- Li SJ., Ahmed MZ., Lv N., Shi PQ., Wang XM., Huang JL., Qiu BL. Plant-mediated horizontal transmission of *Wolbachia* between whiteflies. *The ISME Journal* 2017; 11(4): 1019-1028.
- Lo N., Casiraghi M., Salati E., Bazzocchi C., Bandi C. How many *Wolbachia* supergroups exist?. *Molecular Biology and Evolution* 2002; 19(3): 341-346.
- Madhav M., Baker D., Morgan JA., Asgari S. James P. *Wolbachia*: A tool for livestock ectoparasite control. *Veterinary Parasitology* 2020; 288: 109297.
- Marvaldi AE., Del Río MG., Pereyra VA., Rocamundi N., Lanteri AA. A combined molecular and morphological approach to explore the higher phylogeny of entomine weevils (Coleoptera: Curculionidae), with special reference to South American taxa. *Diversity* 2018; 10(3): 95.
- Mazur MA., Holecová M., Lachowska-Cierlik D., Lis A., Kubisz D., Kajtoch Ł. Selective sweep of *Wolbachia* and parthenogenetic host genomes—the example of the weevil *Eusomus ovulum*. *Insect Molecular Biology* 2016; 25(6): 701-711.
- Morozov-Leonov SY., Nazarenko VY. Genetic differentiation of Ukrainian populations of *Eusomus ovulum* (Coleoptera, Curculionidae): evidence of multiple hybrid speciation. *Zoodyversity* 2021; 55(1): 9-16.
- Onder Z., Ciloglu A., Duzlu O., Yildirim A., Okur M., Yetismis G., Inci A. Molecular detection and identification of *Wolbachia* endosymbiont in fleas (Insecta: Siphonaptera). *Folia Microbiologica* 2019; 64(6): 789-796.
- Oteo JA., Portillo A., Portero F., Zavala-Castro J., Venzal JM. Labruna MB. Candidatus *Rickettsia aseboensis*' and *Wolbachia* spp. in *Ctenocephalides felis* and *Pulex irritans* fleas removed from dogs in Ecuador. *Parasites & Vectors* 2014; 7(1): 1-5.
- Pagendam DE., Trewin BJ., Snoad N., Ritchie SA., Hoffmann AA., Staunton KM., Beebe N. Modelling the *Wolbachia* incompatible insect technique: strategies for effective mosquito population elimination. *BMC Biology* 2020; 18(1): 1-13.
- Rigaud T., Juchault P. Success and failure of horizontal transfers of feminizing *Wolbachia* endosymbionts in woodlice. *Journal of Evolutionary Biology* 1995; 8(2): 249-255.
- Taylor MJ., Hoerauf A. *Wolbachia* bacteria of filarial nematodes. *Parasitology Today* 1999; 15(11): 437-442.
- Thompson JD., Higgins DG., Gibson TJ. ClustalW: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research* 1994; 22(22): 4673-4680.

- Tijssse-Klasen E., Braks M., Scholte EJ., Sprong H. Parasites of vectors-*Ixodiphagus hookeri* and its *Wolbachia* symbionts in ticks in the Netherlands. *Parasites & Vectors* 2011; 4(1): 1-7.
- Tolley SJ., Nonacs P., Sapountzis P. *Wolbachia* horizontal transmission events in ants: what do we know and what can we learn?. *Frontiers in Microbiology* 2019; 10: 296.
- Tuncbilek AS., Bakir S., Derin I., Bilbil H. Screening of reproductive symbionts of *Sitophilus granarius*, *Sitophilus zeamais* and their parasitoid *Lariophagus distinguendus*. *Integrated Protection of Stored Products IOBC-WPRS Bulletin* 2015; 111: 511-517.
- Vavre F., Fleury F., Lepetit D., Fouillet P., Bouletreau M. Phylogenetic evidence for horizontal transmission of *Wolbachia* in host-parasitoid associations. *Molecular Biology and Evolution* 1999; 16: 1711–1723.
- Werren JH., Zhang W., Guo LR. Evolution and phylogeny of *Wolbachia*: reproductive parasites of arthropods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 1995; 261: 55–63.
- Weeks AR., Breeuwer JAJ. *Wolbachia*-induced parthenogenesis in a genus of phytophagous mites. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2001; 268(1482): 2245-2251.
- Werren JH. Biology of *Wolbachia*. *Annual review of entomology* 1997; 42(1): 587-609.
- Werren JH., Windsor DM. *Wolbachia* infection frequencies in insects: evidence of a global equilibrium?. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2000; 267(1450): 1277-1285.
- Zug R., Hammerstein P. Still a host of hosts for *Wolbachia*: analysis of recent data suggests that 40% of terrestrial arthropod species are infected. *PloS one* 2012; 7(6): e38544.
- Zhang D., Wang Y., He K., Yang Q., Gong M., Ji M., Chen L. *Wolbachia* limits pathogen infections through induction of host innate immune responses. *Plos one* 2020; 15(2): e0226736.
- Zouache K., Voronin D., Tran-Van V., Mousson L., Failloux AB., Mavingui P. Persistent *Wolbachia* and cultivable bacteria infection in the reproductive and somatic tissues of the mosquito vector *Aedes albopictus*. *PLoS One* 2009; 4(7): e6388.

Susam (*Sesamum indicum* L.) Genotiplerinin Siirt Ekolojik Koşullarına Adaptasyonunun Belirlenmesi

Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR^{1*}

¹Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Endüstri Bitkileri Anabilim Dalı, Siirt

¹<https://orcid.org/0000-0002-3173-6147>

*Sorumlu yazar: aynurbilmez@siirt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 12.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Susam

Sesamum indicum L.,

Genotip

Adaptasyon

Ekoloji

ÖZ

Yağlı tohum bitkisi olan susam, ağırlıklı olarak dünyanın tropikal ve subtropikal bölgelerinde yetiştirilmektedir. Bitki tohumları %42-54 oranında kaliteli yağ, %22-25 protein ve %20-25 karbonhidrat içerir. Yüksek miktarda besin bileşeni içeren susam tohumları, spesifik antioksidan aktivitesi nedeniyle geleneksel bir sağlık gıdası olarak tüketilmektedir. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde karasal iklimin hüküm sürdüğü Siirt'te çimlenme tarihi, vejetasyon dönemi, ilk çiçeklenme zamanı, son çiçeklenme zamanı, bitki boyu, ilk dal yüksekliği, dal sayısı, bitki başına düşen kapsül sayısı ve verim açısından yüksek performans gösteren toplam 23 farklı susam genotipinden en iyi genotipi seçmek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda, çalışmada gözlenen parametreler için genotipler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Bitki boyu, ilk dal boyu, dal sayısı, bitkideki kapsül sayısı, kapsüldeki tohum sayısı sırasıyla, 80,8-115,9 cm arasında; 5,9-18,3 cm; 3,1-8,5 adet; 65,6-154,2 adet; 62,8-135,2 adet olmuştur. Tohum verim değerleri SUS10 ve SUS1 genotiplerinde sırasıyla en düşük (38,2 kg/da) ve en yüksek (97,4 kg/da) olmuştur. Sonuç olarak, SUS1 genotipi Siirt koşullarına iyi uyum sağlamıştır. Sonuç olarak, bazı susam çeşitlerinin Siirt ekolojik koşullarında verimli şekilde yetiştirilebileceği belirlenmiştir.

Determination of Adaptability of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) Genotypes in Siirt Ecological Conditions

Research Article

Article History:

Received: 22.04.2022

Accepted: 12.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Sesame

Sesamum indicum L.

Genotype

Adaptation

Ecology

ABSTRACT

Oilseed crop sesame is mainly grown in tropical and subtropical parts of the world. Plants seeds contain 42-54% quality oil, 22-25% protein and 20-25% carbohydrates. Sesame seeds with high amounts of nutritional components are consumed as a traditional health food for its specific antioxidative activity. A research was carried out at in South Eastern Anatolia Region of Turkey in Siirt where continental climate prevails, with the aim to select the best genotypes from a total of 23 different sesame genotypes showing high performance in terms of germination date, vegetation period, the first flowering time, the last flowering time, plant height, first branch height, number of branches, number of capsules per plant and yield.

As a result of the study, significant variations were determined between genotypes for the observed parameters in the study. Plant height, first branch height, branches number, capsules number per plant, seed number per capsule were between 80,8-115,9 cm; 5,9-18,3 cm; 3,1-8,5 pieces; 65,6-154,2 pieces; 62,8-135,2 pieces, respectively. The seed yield values were lowest (38,2 kgda⁻¹) and highest (97,4 kg/da) at SUS10 and SUS1 genotypes, respectively. As a conclusion, SUS1 genotype fit well to Siirt conditions. As a result, it was

determined that some sesame varieties can be cropped under Siirt ecological conditions with good yield levels.

To Cite: Özçınar AB. Determination of Adaptability of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) Genotypes in Siirt Ecological Conditions. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1744-1752.

1.Introduction

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an old oil seed crop that has been produced in Asia and Africa for over 7.500 years, even in arid environments (Langham et al., 2010). This dicotyledonous oil seed crop is mainly grown in tropical and subtropical parts of the world for its oils and proteins. Sesame crop is grown for dry seeds for food; leaves and young branches for feed and diversified parts of the plant for the treatment of several diseases (Pusadkar et al., 2015). Main form for utilization of sesame seeds is roasting seeds, which provides nutrients to diets (Makinde & Akinoso, 2014). Vegetable oils are essential part of human diet for their health beneficial roles. Instead, fatty acid profile of most edible oil seed crops are imbalanced (Bhunja et al., 2016). Sesame seeds contains 42-54% quality oil, 22-25% protein, 20-25% carbohydrates and 4-6% ash. This composition varies with genetic and environmental factors (Akinoso et al., 2010).

Sesame seeds, which contain a significant number of essential components, have long been used as a traditional health food due to their antioxidative properties (Yokota et al., 2007). Sesame seeds have a high oil content and are of high quality. Saturated fatty acids, unsaturated fatty acids, proteins, and antioxidants in its seeds are very appealing, resulting in increased seed consumption (Zhang et al., 2019). Sesame fat is important in the food business because of its flavor and stability, as well as its high-quality cooking value. Sesamin and sesaminol lignans found in sesame oil's nonglycerol fraction contributed to the oil's oxidative stability and antioxidative activity (Wu, 2007). Because of the high amounts of oil, proteins, vitamins, carbs, fiber, and antioxidants in sesame seed, it has a wide range of applications in the food, cosmetics, and pharmaceutical industries (Amoo et al. 2017).

This crop is widely grown in arid and semi-arid regions of the world for its high quality edible oil (Eskandari et al., 2009). Sesame, the main source of "queen oil," can set seed and yield astonishingly well in hot weather, and it has a deep taproot system for absorbing moisture and nutrients from lower soil layers, allowing it to thrive with as little as 200–400 mm of rain during the growing season (Bedigian, 2010). Because of their sessile nature, plants are substantially hampered in their development and output by a variety of environmental conditions such as drought, waterlogging, or high salinity (You et al., 2018). Sesame is an essential oilseed crop, but its growth and productivity are severely hampered by abiotic stressors (You et al., 2018). One of the limiting variables impacting its global development and production is its sensitivity to drought at the seedling stage (Mehmood et al., 2022). Sesame has a wide range of root morphological and anatomical characteristics, and a high root biomass boosts the plant's aboveground biomass and seed output (Su et al., 2019). Sesame yields are reduced by waterlogging stress. The shortage of oxygen accessible to submerged tissues is a significant cause of waterlogging stress (Wang et al., 2012). The crop is commonly grown on marginal

terrain and is subjected to a range of challenges. However, there have been few attempts to generate sesame cultivars that are more resistant to abiotic stressors and provide higher yields. The crop is drought tolerant because to its vast root system, but it may suffer significant yield losses when exposed to other environmental challenges such as waterlogging, salinity, heavy metals, and chilling stress. Despite a substantial collection of germplasm, few research initiatives using conventional and biotechnology approaches have resulted in negligible progress in sesame crop sustainability (Islam et al., 2016).

There are indeterminate and determinate growth characteristics in sesame cultivars. Sesame's indeterminate growth habit and seed shattering at maturity resulted in a plant architecture that was poorly adapted to modern farming techniques (Cagirgan, 2006). Sesame flowering lasts a long period due to its indeterminate growth behavior, and this heterogeneous capsule maturation creates harvesting issues and yield losses. Sesame cultivars with superior crop structure and a more consistent habit could aid yield improvement efforts. Early senescence and vulnerability to biotic and abiotic stressors have a detrimental impact on sesame yield potential (Rao et al. 2002).

In 2020, the world's total harvested area of sesame was 13.96 million hectare (ha), with an annual production of 6.80 million tons. Sudan was the largest producer, with a sesame production of (1.53 million tons), followed by Myanmar (0.74 million tons), Tanzania (0.71 million tons) and India (0.66 million tons) (FAO, 2022).

It is insufficient in terms of production of oilseed plants in Turkey. Compared to sesame producing countries, sesame yield is insufficient and the local oil sufficiency produced is still not sufficient. This study was carried out at in South Eastern Anatolia Region of Turkey in Siirt to select the best of 23 different sesame genotypes showing high performance.

2. Material and Method

The study was carried out in the field crops experiment area of the Faculty of Agriculture of Siirt University in 2016. Total 23 different sesame genotypes, were used in the study. The seeds were local populations, which were obtained from local farmers from different regions of Turkey (Aegean, Mediterranean and Southeast Anatolian regions). The seeds were light brown, brown and dark brown in color. The genotypes used in the study were established according to the randomized complete blocks experimental design. Genotypes were obtained from the material collected within the scope of the project supported by Dicle University Scientific Research Projects Coordinatorship (DUBAP). Row length was 6 m, interrow spacing was 70 cm, and intrarow spacing was 15 cm. Study was conducted by randomized complete block design with three replications. Under the second crop conditions, following the wheat harvest, sowings was carried out manually by hand. Complete emergences were achieved approximately one week after plantings. After the plant emergence stage, intrarow plant populations were reduced to homogenous distances. Twice hoeing was conducted.

Since no diseases, pests and weeds were observed as a result of hoeing, pesticide spraying was not applied.

The soil samples were collected from the depth of 0–30 cm and 30-60 cm at the research area before experimentation and analysis in the laboratory following the standard protocols. The soil was high in clay, slightly alkaline, non-saline, medium-level calcareous. Some physical and chemical properties of the soil are given in Table 1.

Table 1. Some physical and chemical properties of the experimental field soil

Soil Properties	Soil Layer (cm)	
	0-30	30-60
Texture	Clay	Clay
Clay(%)	57.12	55.12
Silt(%)	22.0	16.0
Sand(%)	20.88	28.88
Fieldcapacity(FC)	33.52	36.04
Wiltingpoint(Pw)	24.44	26.08
Bulkdensity(gcm^{-3})	1.42	1.39
pH(1:2.5s/w)	7.50	7.66
Electricalconductivity(dSm^{-1})	1.55	1.77

Considering the soil analysis, diammonium phosphate and urea fertilizer were applied to each plot homogeneously, with calculation of 8 kgda^{-1} of phosphorus and 4 kgda^{-1} of nitrogen over the pure substance by Arslan and Gür (2018).

The climate data throughout the study period and long term are presented in Table 2.

The study area is under a continental climate which is characterized by cold and rainy/snowy winters, and hot and dry summers. Long term average temperature of the region in summer is $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $2.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in winter (MGM, 2022). The maximum and minimum relative humidities are 50,9% and 32.7% in May and July. Long term annual precipitation is 669.2 mm, and monthly precipitation ranges from 103,6 mm to 1.3 mm (Table 2).

Table 2. Climatic data for 2016 and 2017 years and long-term average (1962-2015)

Years	Months	Min Temp, ($^{\circ}\text{C}$)	Temp, ($^{\circ}\text{C}$)	Max Temp, ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity (%)	WindSpeed (m s^{-1})	Daily Sunshine (h)	Total precipitation (mm)
Average of 1962-2015 (Long years)	May	25.2	19.4	9.0	49.3	1.0	9.1	36.9
	June	27.2	26.0	17.8	34.9	1.1	11.6	11.5
	July	35.1	30.5	23.4	30.3	1.1	12.3	0.6
	August	34.5	30.3	27.0	29.5	1.0	11.4	2.7
	September	30.0	25.1	14.7	37.4	1.0	10.1	7.0
	October	24.5	17.9	12.7	42.0	1.0	7.2	50.9
2016	May	26.62	19.29	14.52	50.9	1.0	8.7	39.6
	June	26.09	28.16	20.0	35.5	1.1	11.5	10.6
	July	34.13	31.45	24.35	32.7	1.0	12.4	0.1
	August	33.92	31.19	24.23	32.9	1.0	11.3	0.4
	September	31.23	25.43	21.5	39.9	1.1	10.0	9.2
	October	24.3	16.8	11.5	42.3	1.1	7.0	55.1

Before harvesting, 0,5 m was removed from the beginning and end of the rows in each plot and the middle two rows were harvested. Harvesting was conducted manually by cutting the stems of the plants close to the ground with pruning shears.

The obtained data were analyzed according to the randomised complete blocks design by Jump Statistics Program.

3. Results and Discussion

In the sesame genotypes evaluated under the conditions of Siirt province, there were statistically significant variations in branch number and seed yield characteristics. With the analysis, it was determined that there was a 5% significant difference in terms of branch number and seed yield among the characteristics examined in the genotypes (Table 3).

Table 3. Analysis table of the data obtained in the study

Genotype	Plant Height (cm)	First branch height (cm)	Branches number (pieces/plant)	Capsules number per plant (pieces/plant)	Seed number per capsule (pieces/plant)	Seed yield (kgda ⁻¹)
SUS 1	89.6	8.6	3.1 r	131.1	74.8	97.4 a
SUS 10	91.6	5.9	8.5 a	119.4	62.8	38.2 ı
SUS 11	102.4	8.1	6.6 f	80.7	63.7	44.3 fghı
SUS 12	114.0	9.2	5.3 m	120.0	68.8	72.4 b
SUS 13	99.8	7.4	6.2 h	114.7	70.8	61.9 c
SUS 14	96.3	8.5	5.6 k	78.6	126.4	42.8 ghı
SUS 15	95.8	7.4	7.6 d	147.5	65.2	43.2 ghı
SUS 17	110.6	10.5	3.7 q	72.4	67.2	45.5 fgh
SUS 19	115.9	17.1	4.7 n	106.4	72.4	64.7 c
SUS 2	99.0	9.4	5.7 j	101.3	72.0	50.9 ef
SUS 20	104.0	18.3	6.0 ı	85.3	77.2	44.8 fghı
SUS 21	105.0	10.5	7.9 b	154.2	72.0	43.2 ghı
SUS 22	107.0	11.4	6.3 g	106.6	67.6	50.8 ef
SUS 23	93.2	15.0	4.6 o	80.4	82.0	55.1 de
SUS 24	111.1	12.8	5.7 j	97.8	72.8	74.6 b
SUS 25	97.6	15.7	5.5 l	65.6	74.0	43.8 ghı
SUS 26	115.9	11.2	6.6 f	103.2	135.2	40.8 ghı
SUS 27	103.5	12.6	7.1 e	92.2	126.4	78.9 b
SUS 3	106.3	16.0	7.8 c	108.7	78.0	39.9 hı
SUS 4	113.0	7.5	7.8 c	143.5	64.8	61.3 cd
SUS 6	87.8	7.9	6.0 ı	96.0	64.9	46.7 fg
SUS 7	80,8	8.7	3.7 q	67.9	72.4	44.1 ghı
SUS 8	90,4	7.2	4.5 p	84.2	97.8	42.9 ghı
Mean	101.33	10.73	5.93	102.51	79.53	53.40
LSD genotype	12	11.5	* 9	7	7.5	* 12.5

*; P < 0.05

Plant height of sesame genotypes were between 80,8-115,9 cm (Table 3). In the study of Teklu et al., (2014), in which total 32 accessions were tested for crop performance in Ethiopia, plant heights were ranged between 71-147 cm which were higher than our study probably due to environmental and genotypic differences.

First branch height of sesame genotypes were between 5,9-18,3 cm (Table 3). The height to the first capsule is also an important trait for mechanical harvest in sesame production (Van Zanten 2001; Langham et al. 2002). Similar to this study, in their study, Arslan et al., (2018) was determined the first branch height of varieties between 3,7-13,0 cm in the first year and 2,9-9,9 cm in the second year in their experiments.

Branches number of sesame genotypes were lowest (3,1 pieces) at genotype “SUS 1” and (8,5 pieces) at genotype “SUS 10” (Table 3). Ozkan et al., (2012) determined the branch number per plant between 4.2 to 9.4 pieces in their study, similar to this study.

Capsules number per plant of sesame genotypes were between 65,6-154,2 pieces (Table 3). In the study of Teklu et al., (2014), in which total 32 accessions were tested for crop performance in Ethiopia, capsule numbers were between 11-76 pieces, which were lower than our study, probably due to environmental and genotypic differences. Naim et al., (2010) 59,5-185 pieces in their study, similar to this study.

Seed number per capsule of sesame genotypes were between 62,8-135,2 pieces (Table 3).

Seed yield of sesame genotypes were lowest (38,2 kgda⁻¹) at genotype “SUS 10” and highest (97,4 kgda⁻¹) at genotype “SUS 1” (Table 3). Varieties with high yield potential can subsequently be combined with improvements of other traits (Ozcinar and Sogut, 2017). In the study of Teklu et al., (2014), in which total 32 accessions were tested for crop performance in Ethiopia, seed yields were between 23-129 kgda⁻¹, Şimşek et al., (2003) 160,5-115,3 kg da⁻¹, Gerçek et al., (2004) 173,2 kg da⁻¹, Eskandari et al., (2009) 58,82-146,42 kg da⁻¹, Naim et al., (2010) 89-97,5 kg da⁻¹, Nadeem et al., (2015) 74,23 kg da⁻¹, Anđın and Çatalakaya (2019) 112-192 kg da⁻¹ which are similar to our study. Branch number was negatively effected the seed yield where highest yield was obtained under lowest branch number and vice versa.

Among the genotypes, the Sus10 genotype shows the most branching feature, while the Sus1 genotype shows the least branching feature. However, in terms of yield, Sus1 genotype had the highest yield and sus10 genotype had the lowest yield. Thus, it is seen that the yield decreases as the branching increases.

4. Conclusions

Significant variations were determined between genotypes for the observed parameters in the study. Generally, most of the genotypes were significantly different from each other for the seed yield. The seed yield values were lowest (38,2 kg/da) and highest (97,4 kg/da) at SUS10 and SUS1 genotypes,

respectively. The differences between the genotypes might be due to the inherent genetic potential differences of the genotypes and appeared phenotype in tested environments. As a conclusion, SUS1 genotype fit well to Siirt conditions.

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

- Akinoso R., Aboaba SA., Olayanju TMA. Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un-refined sesame oil. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 2010; 10(10): 4124-4138.
- Amoo S., Okorogbona A., Du Plooy C., Venter S. *Sesamum indicum*. Medicinal spices and vegetables from Africa. Elsevier, Amsterdam 2017; 549–579.
- Anđın N., atalkaya V. ukurova koşullarında 2. ürün susamın farklı gelişim dönemlerinde yapılan sulamaların verim ve yağ kalitesine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2019; 24; 112-119.
- Arslan H., Gür MA. Effects of phosphorus and nitrogen application on sesame (*Sesamum indicum* L.) yield in semi-arid climatic conditions. *International Journal of Scientific and Technolojical Research* 2018; 4(4): 483-489.
- Arslan H., Ekin Z., Hatipoglu H. Performances of sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) with different seed shell colors in semi-arid climate conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 2018; 7: 8139-8146.
- Bedigian D. *Sesame: The Genus Sesamum*, CRC Press, Boca Raton, FL2010.USA.
- Bhunja RK., Kaur R., Maiti MK. Metabolic engineering of fatty acid biosynthetic pathway in sesame (*Sesamum indicum* L.): assembling tools to develop nutritionally desirable sesame seed oil. *Phytochemistry Reviews* 2016; 15(5): 799-811.
- Cagirgan MI. Selection and morphological characterization of induced determinate mutants in sesame. *Field Crop Res* 2006; 96: 19–24.
- Eskandari H., Zehtab-Salmasi S., Golezani KG., Gharineh MH. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. *Food Agric. Environ* 2009; 7: 339-342.
- FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. (Access date: 2022) 2022.

- Gerçek S., Boydak E., Şimşek M. Effect of irrigation methods and row spacing on yield and yield components of sesame (*Sesame Indicum* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 2004; 7 (12): 2149-2154.
- Islam F., Gill RA., Ali B., Farooq MA., Xu L., Najeeb U., Zhou W. Sesame. In breeding oilseed crops for sustainable production Academic Press 2016; 135-147.
- Langham D., Riney J., Smith G., Wiemers T., Pepper D., Speed T. Sesame producers guide. Sesaco Corp 2010; 33-41.
- Langham DR., Wiemers T. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In Trends in New Crops and New Uses; Janick, A., Whipkey, A., Eds.; ASHS Press: Alexandria, Egypt 2002; 157–173.
- Makinde FM., Akinoso R. Comparison between the nutritional quality of flour obtained from raw, roasted and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed grown in Nigeria. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria 2014; 13(3): 309-319.
- Mehmood M., Khan MJ., Khan MJ., Akhtar N., Mughal F., Shah STA., Sadiq I. Systematic analysis of HD-ZIP transcription factors in sesame genome and gene expression profiling of SiHD-ZIP class I entailing drought stress responses at early seedling stage. Molecular Biology Reports 2022; 1-13.
- MGM.<https://www.mgm.gov.tr/2022>.
- Nadeem A., Kashani S., Ahmed N., Buriro M., Saeed Z., Mohammad F., Ahmed S. Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the influence of planting geometry and irrigation regimes. American Journal of Pant Sciences 2015; 6: 980-986.
- Naim A., Ahmed M., İbrahim K. Effect of Irrigation and cultivar on seed yield, yield's components and harvest index of sesame (*Sesamum indicum* L.) Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2010; 6(4): 492-497.
- Ozkan A., Curat D., Kulak M. Morphological properties and chemical compositions of some sesame (*Sesamum indicum* L.) populations cultivated in Kilis, Turkey. African Journal of Agricultural Research 2012; 7(19): 3029-3033.
- Ozcinar AB., Sogut T. Analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions collected from different parts of Turkey based on qualitative and quantitative traits. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics 2017; 3(1): 45-51.
- Pusadkar PP., Kokiladevi E., Bonde SV., Mohite NR. Sesame (*Sesamum indicum* L.) importance and its high quality seed oil: a review. Trends Biosci 2015; 8(15): 3900-3906.
- Rao KR., Kishor PBK., Vaidyanath K. Biotechnology of sesame-an oil seed crop. Plant Cell Biotechnol Mol Biol 2002; 3: 101-110.

- Su R., Zhou R., Mmadi MA., Li D., Qin L., Liu A., Dossa K. Root diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.): insights into the morphological, anatomical and gene expression profiles. *Planta* 2019; 250(5): 1461-1474.
- Şimşek M., Boydak E., Kırnak H., Gerçek S., Kasap Y. Susam bitkisinde farklı sulama ve sıra aralıklarında yağmurlama sulamanın su-verim ilişkisine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*. *Tarım Bilimleri Dergisi* 2003; 9(2): 136-142.
- Teklu DH., Kebede SA., Gebremichael DE. Assessment of genetic variability, genetic advance, correlation and path analysis for morphological traits in sesame genotypes. *Asian Journal of Agricultural Research* 2014; 8(4): 181-194.
- Uçan K., Kılı F., Gençoğlan C., Merdun H. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under field conditions. *Field Crops Research* 2007; 101(3): 249-258.
- Van Zanten L. Sesame improvement by induced mutations. Results of the coordinated research projects and recommendation for future studies. Final reports of an FAO/IAEA Coordinated research project organized by joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna 2001; 1-12.
- Wang L., Zhang Y., Qi X., Li D., Wei W., Zhang X. Global gene expression responses to waterlogging in roots of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 2012; 34(6): 2241-2249.
- Wu WH. The contents of lignans in commercial sesame oils of Taiwan and their changes during heating. *Food Chem* 2007; 104: 34-44.
- Yokota T., Matsuzaki Y., Koyama M., Hitomi T., Kawanaka M., Enoki-Konishi M. Sesamin, a lignan of sesame, down-regulates cyclin D1 protein expression in human tumor cells. *Cancer Science* 2007; 98: 1447-1453.
- You J., Wang Y., Zhang Y., Dossa K., Li D., Zhou R., Zhang X. Genome-wide identification and expression analyses of genes involved in raffinose accumulation in sesame. *Scientific Reports* 2018; 8(1): 1-11.
- Zhang Q., Li Q., Huang M., Wu J., Li H., Sun J., Sun B. Analysis of odoractive compounds in 2 sesame-flavor Chinese Baijiu. *Food Science (Chinese)* 2019; 40(14): 214-222.

Temel Harita Bilgilerinin Alan Uzmanları Eşliğinde Değişik Yaş Gruplarındaki Katılımcılara Aktarılması: Bir Etki Analizi Çalışması

Pervin Oya TANERİ¹, Nuri ERDEM^{2*}

¹Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Eğitim Bilimleri Böl., Ankara,

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Müh. Böl., Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-3482-3868>

²<https://orcid.org/0000-0002-1850-4616>

*Sorumlu yazar: nurierdem@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 31.05.2022

Kabul tarihi: 19.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Harita eğitimi

Harita okuma

Oryantiring sporu

Sanal gerçeklik

ÖZ

Harita ve harita bilgilerine her geçen gün daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç, imar planlarının hazırlanması, teknik altyapı projeleri gibi konular için değil, aynı zamanda harita okuma, yön bulma, pusulayı harita ile kullanabilme, Ay, Dünya gibi diğer gezegenlerin de şekil, konum ve hareketlerini öğrenme ve Google Maps gibi sistemlerin kullanımını bilmek konusunda da ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, TÜBİTAK destekli “Alan Uzmanlarıyla Temel Harita Bilgilerine Yolculuk” isimli proje hayata geçirilmiştir. Temel harita bilgilerinin, anaokulundan üniversitedeki öğrencilere ve hatta ilgi duyan tüm öğretmenlere kadar, toplumda önemli bir yere sahip olan birçok katılımcıya, alan uzmanları ve eğitimler eşliğinde, arazi ve büro ortamında teori ve uygulamalı eğitimlerle verilmesi amaçlanmıştır. Proje kapsamında; (1) herkese gerekli olan temel harita bilgileri, (2) harita yapımında kullanılan materyaller, (3) imar uygulamaları, kadastro, hâlihazır harita yapımı, planlama, CBS, GPS ve araç takip sistemi gibi ileri haritacılık uygulamaları, (4) Oryantiring sporu ve uygulamaları ile (5) sanal gerçeklik ve uygulamaları gibi konular katılımcıların yaş ve ihtiyaçlarına uygun olarak alan uzmanları eşliğinde verilmiştir. Bu çalışmanın amacı projenin etkisini analiz etmektir. Çalışmaya 26 ortaokul öğrencisi, 25 lise öğrencisi ve değişik branşlarda görev yapan 30 öğretmen katılmıştır. Bulgular, katılımcıların temel harita bilgilerini arazi ve büro uygulamaları ve Oryantiring sporu yarışmaları ile kalıcı bir şekilde öğrendiklerini, bu alandaki güncel gelişmeleri takip edebilecek ve toplumda farkındalık oluşturabilecek bir seviyeye geldiklerini göstermektedir. Katılımcılar, ayrıca, projenin konusuna ve amaçlarına uygun olarak seçilmiş materyallerin, öğretilen konuyu canlı hâle getirdiğini, öğretim sürecini zenginleştirdiğini ve öğrenmeyi arttırdığını belirtmişlerdir. Araştırmaya katılan öğretmen ve ortaokul öğrencilerinin temel harita bilgilerinde anlamlı bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bulgular proje etkinliklerinin hızlı ve kalıcı öğrenmeye katkı sağladığını göstermektedir. Bu çalışmanın bulgularının öğrencilerin ve öğretmenlerin haritaların yaşamdaki önemini anlamaları, haritaları eleştirel olarak görme alışkanlığı geliştirmeleri, haritalar, diğer grafikler ve resimler hakkında eleştirel bir farkındalık geliştirmeleri konusunda bir bakış açısı sunması umulmaktadır.

Transfer of Basic Map Information to Participants of Different Age Groups Accompanied by Field Experts: An Impact Analysis Study

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 31.05.2022

Accepted: 19.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Map training

Map reading

Orienteering sport

Virtual reality

The need for maps and map information is increasing day by day. This need is valid not only for the preparation of zoning plans and the implementation of technical infrastructure projects, but also for reading maps, finding direction in nature, using maps and compass together, perceiving the shape, position and movements of the Moon, Earth and other planets, and Google Maps. In this context, with the TÜBİTAK-supported “Journey to Basic Map Knowledge with Field Experts-II” project, it is aimed to provide theoretical and practical training in the field and office environment to the participants covering a wide part of the society, students from kindergarten to university level and even teachers, accompanied by field experts and trainers. In project scope; (1) basic map information necessary for everyone, (2) materials used in map making, (3) advanced cartography applications such as zoning applications, cadaster, current map making, planning, GIS, GPS and vehicle tracking system, (4) orienteering sports and applications (5) virtual reality and its applications were given in accordance with the age and needs of the participants, accompanied by field experts. 26 secondary school students, 25 high school students and 30 teachers working in different branches participated in this study, which aims to analyze the impact of the project. The findings show that the participants have learned the basic map information permanently through field and office applications and orienteering sports competitions, and they have come to a level where they can follow the current developments in this field and raise awareness of the society. Participants also stated that the materials chosen in accordance with the subject and aims of the project make the taught subject alive, enrich the teaching process and increase learning. It was observed that there was a significant increase in the basic map knowledge of the teachers and secondary school students who participated in the research. Findings show that project activities contribute to rapid and permanent learning. It is hoped that the findings of this study will provide a perspective for students and teachers to understand the importance of maps in life, develop the habit of seeing maps critically, and develop a critical awareness of maps, other graphics and pictures.

To Cite: Taneri PO., Erdem N. Temel Harita Bilgilerinin Alan Uzmanları Eşliğinde Değişik Yaş Gruplarındaki Katılımcılara Aktarılması: Bir Etki Analizi Çalışması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1753-1780.

1. Giriş

Bir harita sadece grafik oluşturmaz, anlamın kilidini açar ve formüle eder; orası ile burası arasında, daha önce bağlantılı olduğunu bilmediğimiz farklı fikirler arasında köprüler kurar.

Reif Larsen

Harita, yeryüzünün tamamının veya bir parçasının üzerindeki objelerin bir kısmının veya tamamının kuşbakışı olarak, istenilen ölçüğe göre küçültülerek, özel işaretler yardımıyla, düzlem gibi bir referans üzerine çizilmiş grafik şeklidir. Haritalar doğal veya yapay yeryüzü şekillerinin yatay ve düşey konumları ile aralarındaki konumsal ilişkileri ve bitki örtüsü hakkında ayrıntılı bilgiler sağlamanın yanı sıra arazi yapısındaki değişiklikleri ve doğal yapının yüksekliklerini de gösterirler. Coğrafi verilerin anlaşılmasını sağlayan bilgilendirici bir çekirdek olan haritalar coğrafyanın vazgeçilmez bir parçasıdır (Bednarz, 2011). Haritalar yüzyıllardır insanlar tarafından navigasyon, keşif, kodlama, planlama, indeksleme ve diğer birçok amaç için kullanılmıştır (Fung ve ark., 2004). Kaydedilen en eski haritanın tarihi M.Ö. 6000 yılına kadar uzanmaktadır ve 1963'te ortaya çıkarılmıştır (T-Kartor USA Team, 2021). Antik Yunan haritalarının yanı sıra Çin'de de haritacılığın ilk örnekleri ortaya

çıkıştır (Briney, 2019). Haritalar sadece bir bölgenin ya da okyanusun temsilleri değil, aynı zamanda matematiksel işlemlere dayanan ve kültürel bir uygulamanın önemli bir bölümünü oluşturan araçlardır (Siegert, 2011). Haritalar yeryüzü şekillerinin, su kütlelerinin, ülkelerin ve şehirlerin konumlarını göstermek için referans alınan, seyahat etmekten bir binanın veya nesnelerin konumunu coğrafi koordinatlar (enlem ve boylam) ile belirlemeye kadar hayatın hemen her alanında ihtiyaç duyulan materyallerdir. Zihnimizin, sosyal bilimlerin ve yer bilimlerinin ayrılmaz bir parçası olan haritalara (Aksoy, 2019) meteorologlar, astronomlar, denizciler, pilotlar dâhil olmak üzere farklı mesleklerden insanlar ihtiyaç duymaktadır (Lyutyj, 2002).

Dijital çağda geleneksel olarak okullarda öğretilen birçok beceriye artık ihtiyaç duyulmasa da harita okuma, çocukların uzamsal akıl yürütme becerilerini geliştirme ve dünyayı anlamlandırmalarına yardımcı olmak için önemli bir araç olmaya devam etmektedir (Farmer-Kris, 2016). Bilgi, kavrama, uygulama, analiz, sentez ve değerlendirme adımlarından oluşan harita okuryazarlığı, haritaları günlük hayatımızda kullanmak ve anlamayı sağlar (Clarke, 2003). Uzamsal düşünme, bir çocuğun büyüdüğü gelişmesi için tartışmasız en önemli düşünme yollarından birisi olduğu gibi (National Research Council, 2006), matematik ve fen bilimlerindeki başarısı ile de yakından ilgilidir (Mohan ve Mohan, 2013). Ayrıca, coğrafya, sosyal bilimler ve beşerî bilimler de dâhil tüm bilimlere ulaştığı için küresel çevresel zorluklara ilişkin daha bütünsel bir anlayış geliştirme potansiyeli taşır (Meadows, 2020). Brown (2001), özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde 11 Eylül 2001'de yaşanan olaydan sonra, dünyada yaşanan sorunların tüm vatandaşların coğrafyayı iyi kavraması gerektirdiğini, bu tehlikeli yeni yüzyılda coğrafyanın dünya bilgisini hayatta kalma ve sürdürülebilirlik için gerekli olduğunu öne sürmüştür.

2. Teknoloji, Haritalar, Harita Okuryazarlığı ve Eğitim İlişkisi

Mekânsal bilgi çağı olarak nitelendirilen günümüzde (Havelkoya ve Hanus, 2019) haritalar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Bilgiyi tamamen yeni bir perspektife yerleştirebilme ve seçilen bilginin uzamsal dağılımını görselleştirme potansiyelinden dolayı haritalar (van Dijk ve ark., 1994), bilginin mekânsal aktarımında da önemli bir rol oynamaktadır. Kamuya açık coğrafi uygulamalar ve coğrafi bilgi sistemleri son yıllarda haritaların yaygınlaştırılması açısından büyük önem taşımaktadır (Havelkoya ve Hanus, 2019). İnternet ve yeni teknolojiler haritaların oluşturulma ve dağıtılma şeklini önemli ölçüde değiştirdiğinden günümüzde hemen hemen her yerde haritalara ulaşılabilir (Ooms ve ark., 2015). İnsanların dünyayı anlamlandırmalarını kolaylaştıran haritalara duyulan ilginin artması bireylerin mekânsal düşünme gibi harita becerilerini geliştirme ve CBS kullanımını öğrenme ihtiyacını da beraberinde getirmiştir.

Harita okumak modern insanlarda zekânın temel bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Pravda, 2001; Pravda ve Kusendová, 2004). Louv (2010)'a göre doğal bilgi, nerede olduğunuzun ve nereye gittiğinizin farkında olmaktır. Harita okuma bir haritadan bilginin basit bir şekilde çıkarılması (Wiegand, 2006), harita okuryazarlığı ise haritaları günlük yaşamda kullanma ve haritaları anlama

yeteneği olarak tanımlanır (Kaldybekova ve ark., 2021). Harita okumak, haritayı algılamayı, haritanın açıklamasını kullanmayı ve haritanın içeriğini anlamayı içerir. Bu nedenle bir haritayı okumak, haritanın dili ve kullanım yöntemleri hakkında bilgi yoluyla içeriğini anlama sürecidir (Beitlova ve ark., 2020). Bireyin farklı alanlardaki bilgi ve becerilerini geliştirmesi için harita okuma da en az okuma yazma ve aritmetik kadar önemli ön koşul becerilerdendir. Harita yorumlama, okuma ve matematik becerilerini birleştirir ve uzamsal duyu ve görsel okuryazarlık oluşturmaya yardımcı olur. Harita okuryazarlığı, öğrencilerin zihinlerinde açıkça hayal edip edemediklerini, hayatın şeklini, göreceli boyutunu ve hatırladıkları nesnelere algılamak için önemlidir (Klimanovoy ve Naumova, 2002). Bu nedenle, eğitim sistemleri temel becerilerden biri sayılan harita okuma becerilerini öğretilmesi konusuna odaklanmaları gerekir. Harita okumayı öğrenmenin gecikmesi veya harita okumada yetersizlikler, akademik ve entelektüel ilerlemenin önünde bir engel olabilir. Bu bakımdan bireylere erken yaşlardan itibaren temel harita okuma becerileri, mekânsal akıl yürütme ve harita yorumlama becerilerinin kazandırılmasına çalışılmalıdır.

Turistik geziler, ulaşım, bilimsel araştırma, yön bulma, konum analizi, mesafe ve alan hesabı, mekânsal planlama gibi birçok amaç için haritalar kullanılmaktadır (Tümertekin ve Özgüç, 2000). Günümüzde oyunlarda ve akıllı cep telefonu uygulamalarında kullanılan haritalar ve konum belirleme sistemleri başta olmak üzere CBS, Google Maps, araç takip sistemleri ve bunlara benzer sistemlerle haritaya olan önem ve kullanım artmıştır.

Sürdürülebilirlik bilimi olarak coğrafya, gelecek nesilleri potansiyel olarak yıkıcı küresel çevresel değişime uyum sağlayacak ve bunları azaltacak araçlarla donatmak için bilgi ve becerileri geliştirmede giderek daha önemli bir role sahiptir (Meadows, 2020). Ancak, coğrafya öğretmenleri, görev yaptıkları okulların teknolojik altyapı ve ders araç-gereç imkânlarının yetersizliğinden dolayı derslerinde teknoloji destekli olarak ders sunumu hazırlama ve uygulama konusunda isteksizdirler (Ünlü ve Aksoy-Güncel, 2013). Mevcut ortaöğretim coğrafya eğitim programının ağırlıklı olarak soyut bilgilerden oluşması (Alım, 2009), coğrafya dersinde araç ve gereç kullanımını açısından okullar arasında farklılıklar olması (Alım, 2003) ve coğrafya teknolojisi sınıfları olmamasından (Artvinli, 2006) dolayı coğrafya derslerinde uygulamalı yaklaşımlar ve eğitim teknolojileri oldukça az kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) öğrencilerin coğrafi sorgulama becerilerini hızlandırmanın yanı sıra coğrafi verileri analiz etme ve gösterme potansiyeline sahip olmasına rağmen araştırmalar hâlihazırda yoğun bir içeriğe sahip olan coğrafya eğitim programlarına CBS'yi dâhil etmek için yeterli zaman olmadığını göstermektedir (Wanner ve Kerski, 1999; Kidman ve Palmer, 2006; Baker ve ark., 2009; Lam ve ark., 2009). Ayrıca, harita becerisini desteklemek amacıyla coğrafya ders kitaplarında çizilen görsellerin de kuramsal bilgilerden oluştuğu görülmüştür (Artvinli ve Dönmez, 2020). Benzer şekilde Trahorsch ve Bláha (2019) da coğrafya ders kitaplarında eğitsel değeri düşük olan fotoğraflar kullanıldığını belirtmektedir.

Ülkemizde harita becerilerinin kullanımı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, coğrafya eğitiminde harita becerilerine yeterince önem verilmediği görülmektedir (Sönmez ve Aksoy, 2012;

Artvinli ve Dönmez, 2020). Gökçe (2015) yaptığı çalışmada, öğretmen görüşlerine göre sosyal bilgiler dersinin öğrencilerin harita becerilerini geliştirmedeki etkisini araştırmıştır. Buna göre öğrencilerin harita becerilerini öğrenme, uygulama ve geliştirme imkânlarının çok sınırlı olduğunu görmüştür. Bu durumun öncelikle Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programlarından, öğrencilerin ilgisizlik/yetersizliklerinden ve okulların mevcut fiziki altyapısının uygun olmamasından kaynaklandığını belirtmektedir.

Haritalar, konumsal bilgilerin nerelerde, nasıl ve ne şekilde bulunabileceğini gösteren birer iletişim araçlarıdır. Türkiye’de eğitim programlarının yenilenmesi ile birlikte haritalar, coğrafya ve sosyal bilgiler derslerinde çok önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir (Buğdaycı ve Bildirici, 2009). Ancak, ilkökul öğrencilerinin sosyal bilgiler dersinde harita becerilerinin gelişimini inceleyen çalışmalar öğrencilerin mekân algılama, uzunluk ve alan hesaplama becerilerinin, düşük olduğunu ortaya koymaktadır (Üzümcü, 2007; Ertuğrul, 2008; Sönmez, 2010; Ablak ve Aksoy, 2018; Abbak, 2021). Başka bir çalışmada, ortaokul seviyesi sosyal bilgiler dersi için hazırlanan öğrenci çalışma kitaplarındaki harita okuryazarlığı konusunu ele alan yeterli sayıda etkinliğe yer verilmediği, bu nedenle 7. sınıf öğrencilerinin harita okuryazarlık düzeylerinin genellikle orta düzeyde kaldığı belirtilmiştir (Erol, 2017). Yalçınkaya ve Karaca (2021) ortaokul öğrencileri için yapılan harita becerilerini geliştirme çalışmalarının öğrenciler üzerindeki akademik etkisini belirlemeyi amaçladıkları çalışmada, alan yazın taraması sonucunda konuyla ilgili 7 yüksek lisans ve 3 doktora tezi olmak üzere toplam 10 çalışmaya ulaşımlardır. Harita becerilerini geliştirme çalışmalarının akademik başarıyı artırmada olumlu etkisi olduğu, özellikle öğretim sürecinde harita becerilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların öğrenci başarısını arttırdığı belirlenmiştir.

Aksoy (2019) araştırmasında, hizmet öncesi coğrafya öğretmenlerinin harita okuryazarlığı düzeylerini belirlemeye çalışmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, coğrafya lisans öğrencilerinin haritalarla gerçekleştirdikleri etkinliklerin harita okuryazarlığının önemli bir belirleyicisi olduğu görülmüş, coğrafya lisans programlarında harita becerilerini geliştirecek ders ve uygulamalara önem verilmesi önerilmiştir.

Ablak ve Aksoy (2019) çalışmalarında, sosyal bilgiler öğretmen adaylarının harita okuryazarlığı düzeylerinin belirlenmesi amaçlamıştır. Araştırmanın sonuçları, harita faaliyetlerinin harita okuryazarlığının ılımlı bir belirleyicisi olduğunu göstermiş, sosyal bilgiler lisans eğitim programında öğrencilerin harita becerilerini geliştirecek ders ve uygulamalara önem verilmesi önerilmiştir.

Ancak günümüz çocukları okula ve diğer günlük etkinliklerine kendi kendilerine yön bulmalarına gerek kalmadan arabayla veya yürüyerek gittikleri için mekânsal farkındalıktan yoksundur. Koç (2008) çalışmasında toplumumuzda hem yetişkin bireyler hem de çocuk ve gençler haritaları okumakta, doğru kullanmakta ve açık ve anlaşılır yönergeler vermekte zorlandığını belirtmektedir. Koç’a göre ilk ve orta öğretim öğrencileri coğrafi oluşumları, il bölgelerini, öne çıkan ulaşım yollarını, doğal ve beşerî unsurların dağılımını tespit edememekte ve çeşitli dağılım haritalarını kullanarak bir yerin coğrafi özellikleri hakkında çıkarımlarda bulunamamaktadırlar. Bu bakımdan bu çalışmada

harita eğitiminde yeni öğretim yaklaşımları kullanarak harita okumadaki eksikliklerin giderilmesine odaklanılmaktadır.

3. Temel Harita Bilgileri Öğrenimi ve Uygulama Alanları

Günümüz kentlerindeki sorunların birçoğu, ilgili imar planlarının doğru, ileriye dönük ve uzun vadeli yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda şehir ile ilgili üretilen haritaların önemli bir kısmını teşkil eden imar planlarının okunması, önemi, planlama aşamaları, altlık olarak kullanılan hâlihazır haritalar, imar ve kadastro paftalarındaki özel işaretler ve anlamı gibi konular için başta Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği olmak üzere diğer taşınmaz mevzuatı, kadastro tekniği, imar bilgisi, planlama ve kamulaştırma gibi başlıklar incelenmelidir. Ülkemizdeki şehirleşme politikalarıyla birlikte toplumun ihtiyaç duyduğu kaliteli konut ve teknik altyapı gereksinimlerinin üretilebilmesi için zorunlu olan planlama ve uygulama safhası ile yasal dayanaklar mevcuttur (Yomralıoğlu, 2000; Yıldız, 2016).

3.1. Temel Harita Bilgilerine Dayalı Oryantiring Sporunun Uygulamaları

Oryantiring sporu nispeten yeni ve hızla gelişen hem fiziksel hem de bilişsel bileşenleri içeren, karşılaşılan arazi türü açısından diğer koşu sporlarından ayrılan, katılımcıların keşfetme ihtiyacına cevap veren, bireysel veya takımlar halinde ve rekabete dayalı veya rekabetsiz olarak yapılabilecek bir dayanıklılık koşusu etkinliğidir. Katılımcıların özel olarak üretilmiş bir harita ve pusula kullanarak belirlenmiş bir parkurda gezinmesini; başlangıçtan varış noktasına kadar bir yol seçmesini ve yol boyunca kontrol noktalarını ziyaret etmesini içeren bir spordur (Ramesh ve ark., 1992; Creagh ve Reilly, 1997). Yön bulma, biri de yol arama olmak üzere birkaç görevi içerebilir (Wiener ve ark., 2009). Yol arama, aradaki uzaklık hakkında önceden bilgi sahibi olmadan, bilinmeyen bir ortamda, yalnızca yaklaşık olarak bilinen bir konumda bir hedefe en kısa yoldan ulaşmaktır. Oryantiring, koşu ile yön bulmayı birleştiren ve yol aramanın temel bir rolde olduğu (Feraco ve ark., 2021), hız, çeviklik, dayanıklılık ve koşarken karmaşık haritaları okuma ve yorumlama yeteneği gerektiren bir spordur (Renfrew, 1997).

Kolayca öğrenilebilecek temel harita bilgileri ile oryantiring sporu geniş bir yaş ve yetenek yelpazesini hitap eder (Renfrew, 1997; Güler, 2003). Günlük yaşantıda, iş hayatı, dinlenme ve eğlence faaliyetlerinde, açık havada, yağmurda, şehir/köy ortamında oryantiring sporu yapılabilir. Bu spor yaya olarak yapılabildiği gibi at, araba, bisiklet, bot, kayak gibi ulaşım araçları da kullanılabilir (Sevim, 1997). İster spor ister eğlence etkinliği veya okul egzersizi olsun, oryantiring keşif, harita okuma, problem çözmeye ve meydan okumaya dayalı heyecan verici bir koşudur (Renfrew, 1997). Güler (2003) bütün yaş gruplarındaki çocuklara da harita ve pusula kullanımı gibi temel beceriler uygun düzeyde ve oryantiring gibi “eğlenceli” egzersizler eşliğinde öğretilmesi gerektiğini öne sürmektedir. Bu bağlamda bu projede harita eğitimi bir spor dalına dönüştürülerek farklı yaş gruplarındaki bireylerle oryantiring uygulamaları yapılması planlanmıştır. Ancak proje uygulamaları sırasında hava

şartları bu sporu açık alanda yapmaya müsait olmadığından kapalı alanlarda uygulanan grid oryantiring etkinliği yapılmıştır. Grid Oryantiring, çocuk, genç ve diğer katılımcıların yön bulmak, harita kullanmak ve çabuk karar vermek için gereken temel becerileri öğrenmeleri için dar ve kapalı alanlarda yapılan bir etkinliktir.

3.2. Temel Harita Bilgileri ve Sanal Gerçeklik Uygulamaları

Gerçek hayattaki ortamların dijital ortamda oluşturulması sanal gerçeklik (virtual reality-VR) olarak adlandırılır. Sanal gerçeklikte esas, gerekli kask ya da gözlük takıldığında, kaskta bulunan ortama uyum sağlanıp gerçekteki ortamın unutulmasıdır (Kazova, 2016; Gündüz ve Erhan, 2019). Yapılandırmacı öğrenme tasarımına uygun olan sanal gerçeklik (Lee ve Wong, 2008; Sharma ve ark., 2013), hem medya okuryazarlığını geliştirmeyi mümkün kılar hem de coğrafya derslerinde uzak konumların deneyimlenmesine olanak tanır (Prisille ve Ellerbrake, 2020). Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, haritacılıkta ve coğrafya eğitiminde kullanılan bakış açısını ve öğrenme-öğretme araçlarını derinden etkilemiştir. Günümüzde dijital ve mobil cihazlar, internet, sanal öğrenme ortamları ve sanal gerçeklik (VR) teknolojileri coğrafya dersi öğretim programlarına aktif olarak dâhil edilmeye başlanmıştır. Coğrafi bilgi sistemlerindeki ve ilgili bilgi teknolojisindeki gelişmelerle birlikte haritacılıkta bir dönüşüm yaşanmıştır (Fung ve ark., 2004). CBS kullanımı ile günümüzde kâğıt haritalar azalırken resim, animasyon ve sesli sunumlarla bütünleştirilen yeni bir tür (elektronik) haritacılık ortaya çıkmıştır (Dransch, 2000; Laurini, 2001). Bununla birlikte insanların coğrafi dünyayı anlamalarına katkıda bulunmak ve coğrafi sorunları daha derin bir düzeyde çözmeye yardımcı olmak için yeni nesil bir coğrafi analiz aracı olarak Sanal Coğrafi Ortamlar (Virtual Geographic Environments -VGEs) ortaya çıkmıştır (Lin ve ark., 2013). Öğretim sürecinde keşif gezileri ve diğer sanal gerçeklik uygulamalarının kullanılmasıyla elde edilen gerçekçi deneyim, ders kitaplarında yer alan resim ve illüstrasyonların sağladığı olanakların ötesine geçerek coğrafya öğretimini ve öğrenimini iyileştirebilme potansiyelinden (Stojšić ve ark., 2016) yola çıkarak bu projede sanal gerçeklik uygulamalarına yer verilmiştir.

4. Yöntem

Bir TÜBİTAK Projesi Kapsamında planlanan temel harita bilgilerinin uygulamalı yöntemlerle öğretilmesinin etkinliğini ortaya çıkarmayı amaçlayan bu araştırma yarı deneysel bir temele dayanmaktadır. Çalışmada yenilikçi uygulamaların değerlendirilmesinde tek grup deney öncesi araştırma tasarımı (ön ve son test tasarımı) kullanılmıştır. Öntest-sontest puanları arasındaki farkın anlamlılığını test etmek amacıyla parametrik olmayan Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi kullanılmıştır. Katılımcılar seçildikten sonra proje etkinliklerinin öncesinde ve sonrasında test uygulanarak, sonuç ölçümlerinde gözlemlenen gelişmeler, uygulanan proje etkinliklerinin etkinliğine atfedilmiştir. Ayrıca gözlemler ve açık uçlu sorular aracılığıyla elde edilen nitel verilerle nicel bulgular desteklenmiştir.

4.1. Çalışma Grubu

Bu araştırmanın evrenini Osmaniye ilinde bulunan Millî Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullardaki ortaokul ve lise düzeyindeki öğrenciler ile kamu ve özel sektörde görev yapan değişik branşlardaki öğretmenler oluşturmaktadır. Katılımcıların dağılımı Tablo 1'de ve Tablo 2'te verilmiştir. Kullanılacak öğretim yöntem ve tekniklerinin bireyin ihtiyaçlarına uygun olmasını sağlamak açısından çalışma grupları planlanırken aynı yaşlardaki bireylerin bir araya getirilmesine özen gösterilmiştir. Öğrencilerin yaş ortalaması 15'tir.

Tablo 1. Öğrencilerin dağılımı

<i>Cinsiyet</i>	<i>K</i>		<i>E</i>		
<i>Eğitim seviyesi</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>Toplam</i>
Ortaokul 7. Sınıf	26	100	-	-	26
Lise 11. Sınıf	15	60	10	40	25
Toplam					51

Öğretmenlerin yaşları 27-50 arasındadır ve yaş ortalaması 38'dir. Katılımcılar 1-20 yıldır öğretmenlik mesleğini sürdürdüklerini belirtmiştir. Öğretmenlik mesleğinde ortalama çalışma süresi 15 yıldır. Öğretmenlerin %60'ı (n=18) coğrafya ile ilgili herhangi bir ders/kurs/eğitim almadığını belirtmiştir. Diğer öğretmenler ise lisans eğitimleri sırasında coğrafya, harita bilgisi, jeoloji gibi derslere katıldıklarını belirtmişlerdir.

Tablo 2. Öğretmenlerin dağılımı

<i>Cinsiyet</i>	<i>K</i>		<i>E</i>		
<i>Branş</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>Toplam</i>
Sosyal bilgiler	4	36	7	64	11
Fen bilgisi	3	33	6	66	9
Türkçe	1	33	2	66	3
Matematik	2	66	1	33	3
Sınıf	1	100	-	-	1
İngilizce	-	-	1	100	1
Beden eğitimi	-	-	1	100	1
Tarih	-	-	1	100	1
Toplam	11	37	19	63	30

4.2. Projenin Uygulanışı

Proje Etkinliklerinin Planlanması Süreci, Kullanılan Yöntem ve Teknikler

Proje sırasında geliştirilen ve uygulanan yöntemlerin projedeki örnekleri Tablo 3'te açıklanmıştır. Buna göre yöntem olarak artırılmış gerçeklik uygulamaları, gözlem, bilim uygulamaları, daha çok

oyunlar ve sanatsal faaliyetlerle kazandırılan etkinlikler, grup halinde yapılan çalışmalar, oyun tabanlı etkinlikler, saha çalışmaları ve spor etkinlikleri uygulanmıştır.

Tablo 3. Proje kapsamında kullanılan yöntem ve uygulamalar

Yöntem	Projedeki Örnekleri
Artırılmış gerçeklik uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> -Her yaş grubuna göre planlanmış sanal gerçeklik uygulamaları yapıldı. -Bir yerleşim yerini modelleyip içerisinde gezinti sağlandı. -Uzay boşluğu ve gezegenleri modelleyip (temsili model) gezinti yapıldı. -Bir bölgenin yer şekli bitki örtüsü vb. modelleyip gezinti yapıldı. -Dünyayı kesen eksenleri (paralel ve meridyenler) modelleyip bilgi aktarımı yapıp öğrenme sağlandı. -Sanal gerçeklik gözlüğü tasarlandı.
Gözlem	<ul style="list-style-type: none"> -Kuzey yönünün pusula kullanılarak belirlenmesi çalışmaları yapıldı. -Objelerin değişik ölçeklerdeki haritalar ile yeryüzü objelerinin harita ortamındaki görünüşleri karşılaştırıldı. -Etkinlik bölgesine ait değişik ölçeklerdeki kabartma haritaları yeryüzü şekilleri ile karşılaştırılarak, 3B algılama ve kuş bakışı yeryüzünü tanıma uygulamaları yapıldı.
İçeriği oyunlar yoluyla kazandırılan etkinlikler	<ul style="list-style-type: none"> -Oryantiring sporu ile temel harita bilgilerinin kullanımının öğrenilmesi, çocuklar için Oryantiring eğitimi ve uygulamaları yapıldı.
İçeriği sanatsal faaliyetlerle kazandırılan etkinlikler	<ul style="list-style-type: none"> -Çocuk gruplarında dört temel yön kavramının öğretilmesi için sınıf ve okul bahçesinde müzik, dans ve tiyatro etkinliği yapıldı.
Oyun tabanlı uygulamalar	<ul style="list-style-type: none"> Oryantiring sporu uygulamalarının yapıldı ve bu şekilde oyun tabanlı öğrenmenin gerçekleştirildi.
Saha çalışmaları	<ul style="list-style-type: none"> -Pusulanın kullanılması, yön bulma, harita ile pusulanın birlikte kullanımı, -Basit harita ölçü aletlerinin tanıtılması, -GNSS ve diğer ölçü aletlerinin kullanılması, -Kampüs alanında bir bölgenin ölçümlerinin yaparak haritasının oluşturması,
Spor etkinlikleri	Oryantiring sporunun sınıf ortamında teori anlatımı ve arazide yarışma uygulamaları

4.3. Veri Toplama Süreci

Araştırmanın verileri, gözlem ve ön-son test uygulanarak elde edilmiştir. Projenin etkinliğini değerlendirmek için yazarlar tarafından geliştirilen, katılımcıların temel harita bilgi düzeyini ve etkinliklerle ilgili düşüncelerini ortaya çıkarmayı amaçlayan yapılandırılmış ön-son test kullanılmıştır. Ön-son test formlarında demografik bilgi almak için öğretmenler için 5 öğrenciler için 4 madde, haritanın önemi, kullanma alanları, harita çiziminde gerekli CAD programları, arazi ölçüm çalışmaları gibi temel harita bilgileri konusundaki bilgi seviyelerini belirlemek için evet/hayır sorularından oluşan 11 madde ile 2 açık uçlu soru sorulmuştur. Ayrıca katılımcıların projeden beklentilerini belirlemek için iki açık uçlu soru yer almaktadır. Ön-testler proje etkinlikleri başlamadan önce, son-testler de projenin son günü etkinliklerin bitiminde uygulanmıştır. Testlerin uygulama sırasında güvenilirliği

artırmak için katılımcıların isimleri alınmamış, ön-son testte aynı işareti/numarayı/rumuzu kullanmaları istenmiştir. Anketlerin Cronbach α iç tutarlılık katsayıları sırasıyla öğretmen anketlerinde 0,78; ortaokul öğrencileri anketlerinde 0,95, lise öğrencileri anketlerinde ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.

Projenin ikinci günü katılımcı gruplara oryantiring sporu ile temel harita bilgilerinin uygulamalı olarak öğretilmesi planlanmıştır. Böylelikle kuramsal olarak verilen temel harita bilgilerinin ne derece öğrenildiği/uygulandığının görülmesi hedeflenmiştir.

Projede uygulanan önemli etkinliklerden birisi de katılımcılarla birlikte küçük bir bölgenin haritasının değişik ölçek ve boyutlarda yapılmasıdır. Bu uygulama ile hedeflenen, bir bölgeye ait haritanın, ilk ölçüm aşamasından, sonuç ürün olan kâğıt ortamındaki şeklinin elde edilme aşamalarının uygulamalı olarak görülmesi ve anlaşılmasıdır. Proje sırasında 2B ve 3B renkli çizim elde etme, sayısal harita yapımı gibi uygulamalı etkinliklerin de yapılması planlanmıştır (URL-1). Projenin bitiminde kuramsal bilgiler ve uygulamalı eğitimlerle ilgili testler yapılmıştır. Bu testlerle proje hedeflerine ne derece ulaşıldığı ve katılımcıların geldiği nokta gözlemlenmiştir. Ayrıca, proje bitiminde bir sonuç anket uygulaması yapılarak katılımcıların beklentilerinin karşılanıp karşılanmadığı ölçülmüştür.

5. Bulgular

Verilerin analizinde betimsel çözümlene yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca öğretmenlerin verdikleri cevaplardan alıntılar yapılmıştır. Testler farklı grupların özelliklerine göre hazırlandığı için her bir grubun verdiği cevaplar kendi içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmiş ve ilgili tablolarda gösterilerek analizler yapılmıştır.

5.1. Temel Harita Bilgisi alanındaki testlerin değerlendirilmesi

Tablo 4’de öğretmenlerin ön test ve son testten aldıkları puanların ortalamaları verilmiştir. Tablo 5 ise ortalamalar arası fark olup olmadığı karşılaştırılmıştır. Tablo 5 incelendiğinde öğretmenlerin ön test-son test puanları arasında anlamlı derecede farklılaşma görülmüştür ($z = -4.318, p < .05$).

Tablo 4. Öğretmenlerin ön test ve son test puan ortalamaları

	<i>n</i>	\bar{x}	<i>SS</i>
Ön test	30	3,30	2,35
Son test	30	6,60	4,51

Tablo 5. Öğretmenlerin ön-test ve son-test Wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Sıra işaretleri	<i>n</i>	Sıra ortalaması	Sıra toplamı	<i>z</i>	<i>P</i>
Negatif sıra	0	.00	0	-4,318	.001
Pozitif sıra	24	12,50	300		
Eşit	6				

*Negatif sıralar temeline dayalı

Öğretmenlerin ön-test ve son-testlerin “*Temel Harita Bilgisi*” alanındaki sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Bulgular incelendiğinde proje etkinlikleri öncesinde öğretmenlerin %70’i (n=21) bir haritanın nasıl yapıldığını bilmediğini belirttiği halde, proje sonrasında ankete cevap veren 29 öğretmenden 21’i (%72) harita yapmayı bildiğini belirtmiştir. Burada sosyal bilgiler öğretmenlerinin cevaplarının diğerlerinden farklı olmuştur. Benzer şekilde öğretmen adaylarının harita becerilerinin belirlendiği çalışmalarda coğrafya ve sosyal bilgiler alanındaki adayların harita becerileri diğer branşlara göre daha yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir (Duman ve Girgin, 2007; Meriç, 2011; Balcı, 2015; Cendek, 2015; Özcan, 2015; Güneş, 2016).

Tablo 6. Öğretmenler grubu ön test ve son test sonuçlarının karşılaştırılması

	Ön test				Toplam	Son test				Toplam*
	Evet		Hayır			Evet		Hayır		
	n	%	n	%		n	%	n	%	
Bir harita nasıl yapılır biliyor musunuz?	9	30	21	70	30	21	72	8	28	29
Arazi ölçümü, hesap ve çizim aşamalarında kullanılan araç-gereçlerin neler olduğunu biliyor musunuz?	1	3	29	97	30	17	74	6	26	23
Bilgisayar CAD programlarını kullanmayı biliyor musunuz?	0	0	30	100	30	1	3	29	97	30
Doğada yönünüzü nasıl bulacağımızı biliyor musunuz?	17	57	13	43	30	25	93	2	7	27
Pusula kullanmayı biliyor musunuz?	11	38	18	62	29	22	81	5	19	27
Harita kullanmayı/okumayı biliyor musunuz?	10	33	20	67	30	17	77	5	23	22
Harita çeşitlerini biliyor musunuz?	22	79	6	21	28	15	79	4	21	19
Farklı haritaların nerelerde ve ne amaçla kullanıldıklarını biliyor musunuz?	10	33	20	67	30	14	67	7	33	21
Ölçek kavramının anlamını biliyor musunuz?	21	70	9	30	30	15	75	5	25	20
Ölçek çeşitlerini biliyor musunuz?	13	43	17	57	30	14	64	8	36	22
Kentsel planlama aşamalarını biliyor musunuz?	1	3	29	97	30	18	67	9	33	27

*Yüzdeler ankete cevap veren katılımcıların sayılarına göre hesaplanmıştır.

“Arazi ölçümü, hesap ve çizim aşamalarında kullanılan araç-gereçlerin neler olduğunu biliyor musunuz?” şeklindeki bir soruya proje öncesinde öğretmenlerin %97’si hayır cevabını verdikleri halde, proje sonrasında bu oran %74 evet olarak sonuçlanmıştır. Farklı haritaların nerelerde ve ne amaçla kullanıldıklarını proje öncesinde öğretmenlerin ancak %33’ü (n=10) bildiği halde, proje sonrasında bu oran ankete cevap veren 21 öğretmenden 14’ü (%67) evet cevabını vermiştir. Bu ve diğer test soru örnekleri incelendiğinde projedeki uygulamaların kolay ve kalıcı öğrenmede ne derece etkili olduğu açıkça görülmektedir.

Öğretmenlere uygulanan ön test ve son test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde proje sırasında yapılan uygulamaların etkili olduğu görülmektedir. Bulgulara göre öğretmenlerin temel harita bilgisi konusunda kendilerini yetersiz gördükleri görülmüştür. Öğretmenler, eğitim programlarında ortaokula kadar harita eğitimi olmadığını, ortaokulda verilen eğitimin ise yüzeysel olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 7’de ortaokul öğrencilerinin ön test ortalamalarının 1.69 ve son test ortalamalarının 5.46 olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Ortaokul öğrencileri ön test ve son test puan ortalamaları

	<i>n</i>	\bar{x}	<i>SS</i>
Ön test	26	1,69	3,11
Son test	26	5,46	3,58

Tablo 8 incelendiğinde ortaokul öğrencilerinin ön test-son test puanları arasında anlamlı derecede farklılaşma görülmüştür ($z = -1.154$, $p < .05$).

Tablo 8. Ortaokul öğrencileri ön-test ve son-test Wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Sıra işaretleri	<i>n</i>	Sıra ortalaması	Sıra toplamı	<i>z</i>	<i>P</i>
Negatif sıra	0	.00	0	-4,217	.001
Pozitif sıra	23	12,00	276		
Eşit	26				

*Negatif sıralar temeline dayalı

Ortaokul öğrencilerini ön test ve son testlerin “*Temel Harita Bilgisi*” alanındaki sonuçları Tablo 9’da verilmiştir. Bulgular incelendiğinde proje etkinlikleri öncesinde ortaokul öğrencilerinin %92’sinin (n=24) bir haritanın nasıl yapıldığını bilmediğini belirttiği halde, proje sonrasında ankete cevap veren 26 öğrenciden 13’ü (%50) harita yapmayı bildiğini belirtmiştir. “Harita çeşitlerini biliyor musunuz?” şeklindeki bir soruya proje öncesinde öğrencilerin %42’si evet cevabını verdikleri halde, proje sonrasında bu oran %73’e yükselmiştir. Farklı haritaların nerelerde ve ne amaçla kullanıldıklarını proje öncesinde öğrencilerin ancak %8’i (n=2) bildiği halde, proje sonrasında bu oran %42’ye (n=11) çıkmıştır. Bu sonuçlar da proje uygulamalarının öğrenmeye katkısının olduğuna dair önemli ipuçları vermektedir.

Tablo 9. Ortaokul öğrencileri ön test ve son test sonuçlarının karşılaştırılması

	Ön test					Son test				
	Evet		Hayır		Toplam	Evet		Hayır		Toplam*
	n	%	n	%		n	%	n	%	
Bir harita nasıl yapılır biliyor musunuz?	2	8	24	92	26	13	50	13	50	26
Arazi ölçümü, hesap ve çizim aşamalarında kullanılan araç-gereçlerin neler olduğunu biliyor musunuz?	2	8	24	92	26	19	73	7	27	26
Bilgisayar CAD programlarını kullanmayı biliyor musunuz?	2	4	24	96	25	12	46	14	54	26
Doğada yönünüzü nasıl bulacağınızı biliyor musunuz?	6	25	18	75	24	22	85	4	15	26
Pusula kullanmayı biliyor musunuz?	7	27	19	73	26	22	85	4	15	26
Harita kullanmayı/okumayı biliyor musunuz?	5	19	21	81	26	15	58	11	42	26
Harita çeşitlerini biliyor musunuz?	11	42	15	58	26	19	73	7	27	26
Farklı haritaların nerelerde ve ne amaçla kullanıldıklarını biliyor musunuz?	2	8	24	92	26	11	42	15	58	26
Ölçek kavramının anlamını biliyor musunuz?	2	8	24	92	26	12	46	14	54	26
Ölçek çeşitlerini biliyor musunuz?	2	8	24	92	26	15	58	11	42	26
Kentsel planlama aşamalarını biliyor musunuz?	3	12	23	88	26	9	35	17	65	26

* Yüzdeler ankete cevap veren katılımcıların sayılarına göre hesaplanmıştır.

Lise öğrencilerinin ön test ortalamalarının 3.48 ve son test ortalamalarının 4.64 olduğu görülmektedir (Tablo 10).

Tablo 10. Lise öğrencilerinin ön test ve son test puan ortalamaları

	<i>n</i>	\bar{x}	<i>SS</i>
Ön test	25	3.48	2.71
Son test	25	4.64	3.60

Tablo 11 incelendiğinde lise öğrencilerinin öntest-sontest puanları arasında anlamlı derecede farklılaşma görülmemiştir ($z = -1.154, p > .05$).

Tablo 11. Lise öğrencilerinin ön-test ve son-test Wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Sıra işaretleri	<i>n</i>	Sıra ortalaması	Sıra toplamı	<i>z</i>	<i>P</i>
Negatif sıra	11	10.91	120	-1.154	.249
Pozitif sıra	14	14.64	205		
Eşit	0				

*Negatif sıralar temeline dayalı

Lise öğrencilerinin ön test ve son testlerin “*Temel Harita Bilgisi*” alanındaki sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. Bulgular incelendiğinde proje etkinlikleri öncesinde lise öğrencilerinin %92’inin (n=23) bir haritanın nasıl yapıldığını bilmediğini belirttiği halde, proje sonrasında ankete cevap veren 25 öğrenciden 11’ü (%44) artık harita yapmayı bildiğini belirtmiştir. Pusula kullanmayı biliyor musunuz? Şeklindeki bir soruya proje öncesinde öğrencilerin %44’ü evet cevabını verdikleri halde, proje sonrasında bu oran %68’e çıkmıştır. “Ölçek çeşitlerini biliyor musunuz?” şeklinde bir soruya da proje öncesinde öğrencilerin ancak %8’i (n=2) bildiği halde, proje sonrasında bu oran %64’ye (n=16) çıkmıştır. Bu sonuçlar da proje uygulamalarının hızlı ve kalıcı öğrenmeye önemli katkısının olduğunu göstermektedir.

Tablo 12. Lise öğrencileri ön test ve son test sonuçlarının karşılaştırılması

	Ön test					Son test				
	Evet		Hayır		Toplam	Evet		Hayır		Toplam*
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	
Bir harita nasıl yapılır biliyor musunuz?	2	8	23	92	25	11	44	14	56	25
Arazi ölçümü, hesap ve çizim aşamalarında kullanılan araç-gereçlerin neler olduğunu biliyor musunuz?	1	4	24	96	25	10	40	15	60	25
Bilgisayar CAD programlarını kullanmayı biliyor musunuz?	23	92	2	8	25	22	88	2	12	25
Doğada yönünüzü nasıl bulacağınızı biliyor musunuz?	9	36	16	64	25	20	80	5	20	25
Pusula kullanmayı biliyor musunuz?	11	44	14	56	25	17	68	8	32	25

Harita kullanmayı/okumayı biliyor musunuz?	11	44	14	56	25	18	72	7	28	25
Harita çeşitlerini biliyor musunuz?	9	36	16	64	25	13	52	12	48	25
Farklı haritaların nerelerde ve ne amaçla kullanıldıklarını biliyor musunuz?	8	32	17	68	25	15	60	10	40	25
Ölçek kavramının anlamını biliyor musunuz?	9	36	16	64	25	17	68	8	32	25
Ölçek çeşitlerini biliyor musunuz?	2	8	23	92	25	16	64	9	36	25
Kentsel planlama aşamalarını biliyor musunuz?	1	4	24	96	25	7	28	18	72	25

*Yüzdeler ankete cevap veren katılımcıların sayılarına göre hesaplanmıştır.

5.2. Proje Hakkındaki Düşünceler

5.2.1. Öğretmenlerin görüşleri

Bulgular incelendiğinde katılımcıların büyük bir çoğunluğunun projeye katılma motivasyonunun *mesleki gelişim ve yeniliği uygulama hevesi* ile ilgili olduğu gözlenmiştir. Tablo 13'te katılımcıların projeye katılma nedenleri, frekansları ve alıntılar gösterilmektedir. Tablo 13'ten de anlaşılacağı üzere, katılımcıların motivasyonu "*öğrenme, merak/ilgi, yeniliği uygulama*" konularında yoğunlaşmaktadır.

Tablo 13. Öğretmenlerin projeye katılma nedenleri

<i>Mesleki gelişim ve yeniliği uygulama hevesi</i>	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
• Öğrenme	13	<i>Harita ve kullanımı hakkında bilgi sahibi olmak. Haritayı okumayı bilen bir birey olmak.</i>
• Merak/ilgi	7	<i>Kendimi geliştirmek, farkındalık oluşturmak, farklı bir bakış açısı geliştirmek. Etkinlik ilgimi çekti, yeni şeyler öğrenme isteği.</i>
• Yeniliği uygulama	2	<i>Okulda bir etkinlik fırsatı olarak gördüm. Çocuklarla farklı ortamlar yaşama fırsatı</i>

Öğretmenlerin projeden beklentileri "*öğrenme, yeniliği uygulama ve sosyalleşme*" temalarının altında toplanmaktadır (Tablo 14).

Tablo 14. Öğretmenlerin projeden beklentileri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Öğrenme		
• Doğayı tanıma	1	<i>Doğayı tanıma</i> <i>Harita ve yön bulma konularında bilgi sahibi olma.</i>
• Yön bulma	4	<i>Yer yön ve pusula kullanmayı öğrenebilme.</i>
• Harita bilgisi	6	<i>Harita bilgimi geliştirmek istiyorum</i>
• Oryantiring	5	<i>Oryantiring ile ilgili daha fazla bilgi edinmek istiyorum.</i>
Yeniliği uygulama	4	<i>(Öğrendiklerimi) başkalarına aktararak eğitimi eğlenceli kulma.</i> <i>Bilimsel bakış açısını kazanmak.</i> <i>Oryantiring ile ilgili öğrencilerime etkinlik yaptırabilecek beceriler kazanmak, yeni bir şey öğrenmek.</i> <i>Oryantiring bilgilerimi tazeleme, yeni şeyler öğrenme öğrenip öğrencilerime faydalı olmak</i>
Sosyalleşme	1	<i>...sosyalleşmek, grup çalışmalarına dâhil olmak.</i>

Tablo 15’de da görüldüğü üzere öğretmenler proje etkinliklerinin yönetim ve organizasyonunu beğendiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca etkinliklerde uygulama imkânı bulduklarını ve hem bilgilerinin arttığını hem de eğlendiklerini ifade etmişlerdir. Etkinliklerin en olumsuz/en sevilmeyen yönleri ise; “*Teorik süreninin uzatılması, Akademik bilgi fazlalığı, Uzun slaytların olması, Konu dışına çıkılması, Teoriğin fazla olması, Uygulamalı ağırlıklı olması*” şeklinde sıralanmıştır. Bunun yanında projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri ile ilgili olarak da “*Oryantiring etkinliğinin daha geniş kapsamlı yapılması ve bu konuda sertifika verilmeli, Oryantiring parkuru daha detaylı olmalı, Oryantiring uygulamalarına daha fazla yer verilmeli*” şeklinde istekler belirtmişlerdir.

Tablo 15. Öğretmenlerin proje sonunda etkinlikler hakkındaki düşünceleri

Etkinliklerin en olumlu/en sevilen yönleri		
	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Yönetim ve organizasyon	3	<i>Etkinlik tam uzmanlar tarafından yapıldı. Eğitim gereklileri bunun uzmanlardı</i> <i>Organizasyon, malzeme, eğitmen yeterliliği ve hediyeler</i> <i>...güzel düzenlenen bir proje.</i>
İçerik ve eğitim durumları Duygular	7	<i>Uygulamalı eğitim</i> <i>Eğlenceli</i>
	3	<i>Sosyalleşme adına iyiydi</i> <i>Eğlenerek öğrenmeyi sağlaması</i> <i>Bilgilendirici ve eğlenceli olması</i>
Etkinliklerin en olumsuz/en sevilmeyen yönleri		
	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Bilgilerin sunumu		<i>Teorik süreninin uzatılması</i> <i>Akademik bilgi fazlalığı</i>

	5	<i>Uzun slaytlar vardı, konu dışına çıktı. Teoriğin fazla olması Uygulamalı ağırlıklı olması</i>
Proje süresi	2	<i>Daha uzun soluklu ve uygulamalı olabilir. Kısa sürmesi.</i>
Etkinlikler	2	<i>Tapu kadastro bilgileri olmayabilirdi. Daha fazla uygulamalı etkinlik olabilirdi.</i>
Lojistik	1	<i>Kahvaltı</i>

Projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Uygulamanın uzatılması	6	<i>Uygulamalı bölümler artırılabilir. Uygulama artırılmalı, süre uzun tutulmalı. Kamp olmalı en az 3 gün olmasını isterdim.</i>
İçeriğin düzenlenmesi	5	<i>Bilgiler tekrar düzenlenmeli Harita okuma anlatılmalı, yön bulma anlatılmalı</i>
Oryantiring etkinliğinin kapsamının artırılması.	9	<i>Oryantiring etkinliğinin daha geniş kapsamlı yapılması ve bu konuda sertifika verilmesi olabilir. Oryantiring parkurunun daha detaylı olmasını isterdim Oryantiring uygulamalarına daha fazla yer verilmeli</i>

Projeden edinilen bilgi ve becerilerin mesleki/özel yaşamda nasıl kullanılacağı

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Sınıf içi uygulama	8	<i>Sınıfta işime yarayacaktır. Öğrencilerime de yapabilirim. Öğrencilerimle harita uygulamaları ve Oryantiring yapabiliriz.</i>
Özel yaşamda uygulama	3	<i>Ailemle bu etkinliği yapabilirim. Harita kullanımının eğitimlerimde daha çok kullanılmasını gerektiğini düşünüyorum.</i>

Katılımcıların çoğu başka meslektaşlarının da bu projeye katılmasını istediğini belirtmiştir (n=28).

5.2.2. Ortaokul öğrencilerinin görüşleri

Ortaokul öğrencileri grubunun projeye katılma nedenleri incelendiğinde katılımcıların çoğunluğunun projeye katılma nedeninin “*temel harita bilgilerini eğlenerek öğrenmek*” olduğu gözlenmiştir. Tablo 16’da katılımcıların projeye katılma nedenleri, frekansları ve alıntılar gösterilmektedir. Buna göre, ortaokul öğrencilerinin çoğunun projeye katılma nedeni “*öğrenme*” konusunda yoğunlaşmaktadır.

Tablo 16. Ortaokul öğrencileri grubunun projeye katılma nedenleri

<i>Temel harita bilgilerini öğrenmek</i>	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>	
• Öğrenme	4	<i>Harita bilgisi öğrenmek</i>	
	2	<i>Bir şeyler öğrenmek</i>	
	4	<i>Oryantiring sporunun ne olduğunu öğrenmek</i>	
	2	<i>Coğrafyayı öğrenmek</i>	
	2	<i>Farklı bilgiler öğrenmek</i>	
	1	<i>Yeni bilgiler öğrenmek</i>	
	3	<i>Harita okumayı öğrenmek için</i>	
	2	<i>Doğada yön bulmayı öğrenmek</i>	
	• Eğlenme/hoşça vakit geçirme	3	<i>Güzel bir etkinlik olacağını düşündüm</i>
		1	<i>Eğlenceli gibi geldi</i>
1		<i>Arkadaşlarımla eğlenmek</i>	
1		<i>Arkadaşlarla hoşça vakit geçirmek</i>	

Ortaokul öğrencilerinin projeden beklentileri “*eğlenerek öğrenme*” teması altında toplanmaktadır (Tablo 17).

Tablo 17. Ortaokul öğrencilerinin projeden beklentileri

<i>Temel harita bilgilerini öğrenmek</i>	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
• Eğlenerek öğrenme	5	<i>Haritalar hakkında bilgi kazanmak</i>
	4	<i>Harita okumayı öğrenmek</i>
	1	<i>Üniversiteyi tanımak</i>
	2	<i>Oryantirinkin ne olduğunu öğrenmek</i>
	2	<i>Harita bilgilerimi güçlendirmek</i>
	5	<i>Eğlenerek öğrenmek</i>
	3	<i>Harita kullanımını öğrenmek</i>
	2	<i>Harita ve pusula hakkında bilgi sahibi olmak</i>
	1	<i>Yeni şeyler öğrenme konusunda beklentim çok fazla</i>
	1	<i>Bundan sonra coğrafyada daha başarılı olacağım</i>

Tablo 18’de de görüldüğü üzere ortaokul öğrencileri, proje etkinliklerinin öğrenme ve sosyalleşme üzerindeki olumlu etkilerinden söz etmişlerdir. Ayrıca etkinliklerde eğlendiklerini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra öğrenciler etkinliklerin en olumsuz/en sevmediğiniz yönleri olarak; “*Biraz fazla teorik anlatımın olması, Bir anlatım çok sıkıcı idi, İki saniye ile yarışmayı kaybedip hediye alamadım, Kazanamadığımda çok üzülmem*” şeklinde görüşlerini ortaya koymuşlardır. Projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri olarak; “*Oryantiring sporunda daha çok hedef olmalı ve daha uzun parkurda yapılmalı, Tekrar yapılırsa çok iyi olur, Daha çok ödül olmalı, Gerek yok zaten her şey çok güzeldi, Üniversite gezisi olmalı*” diye ifade etmişlerdir. Projeden elde edilen bilgi ve

becerilerin günlük hayatta kullanımı hakkındaki görüşlerini ise; “Dünyayı gezdiğimde, Ormanda kaybolduğumda, Coğrafi yönlerde ve yerimi bulmada, belki yarışmalara katılmaya devam ederim, Her yönde iyi etkiler, Sınavlarda, Yarışmalarda, Arkadaşlarıma hava atarım” şeklinde sıralanmıştır.

Tablo 18. Ortaokul öğrencileri grubunun proje bitiminde etkinlikler hakkındaki düşünceleri

<i>Etkinliklerin en olumlu/en sevdiğiniz yönleri</i>				
<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>			
Öğrenme	8	Yarışıp kazanmayı ve kaybetmeyi öğrendim Oryantiring sporunu öğrendim ve çok sevdim Yeni bilgiler öğrenmek		
	Sosyalleşme	9	Harita ve pusula öğrenmek Ders ile birlikte eğlenerek öğrenmek Rehber ablalar çok cana yakındı Yemeğe götürmeleri incelikti	
		Aktiviteler	9	Her şey çok güzeldi Yarışma ve bilgi yönleri çok güzel Hediyeler Eğlenceli etkinlikler Güzel ve heyecanlı aktiviteler
9			Fiziksel aktivitelerin çok olması Spor yapmış olmamız Yarışmaların çok olması	
<i>Etkinliklerin en olumsuz/en sevmediğiniz yönleri</i>				
<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>			
Aktarım	5	Biraz fazla teorik anlatımın olması Bir anlatım çok sıkıcı idi		
	Duygular	7	İki saniye ile yarışmayı kaybedip hediye alamadım Yorulmamız Kazanamadığımda çok üzülmem Bazı etkinliklerin sıkıcı olması	
<i>Projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri</i>				
<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>			
Sportif aktiviteler	11	Oryantiring sporunda daha çok hedef olmalı Oryantiring sporu daha uzun parkurda yapılmalı Oryantiring sporu geniş alanda yapılmalı Yarışmalar daha düzenli olsun		
		Sosyalleşme	15	Tekrar yapılırsa çok iyi olur Daha eğlenceli olabilirdi Daha çok ödül olmalı Gerek yok zaten herşey çok güzeldi Üniversite gezisi olmalı
			<i>Projeden elde edilen bilgi ve becerilerin günlük hayatta kullanımı</i>	
		<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>	
	26	Dünyayı gezdiğimde Ormanda kaybolduğumda Coğrafi yönlerde ve yerimi bulmada Belki yarışmalara katılmaya devam ederim Her yönde iyi etkiler Sınavlarda Yarışmalarda Arkadaşlarıma hava atarım		

5.2.3.Lise öğrencilerinin görüşleri

Lise öğrenci grubundaki katılımcıların büyük bir çoğunluğunun projeye katılma motivasyonunun *öğrenme ve eğlenme hevesi* ile ilgili olduğu gözlenmiştir. Tablo 19’da katılımcıların projeye katılma nedenleri, frekansları ve alıntılar gösterilmektedir. Tablo 19’dan da anlaşılacağı üzere, katılımcıların motivasyonu “*öğrenme ve eğlenme*” konularında yoğunlaşmaktadır.

Tablo 19. Lise öğrencileri grubunun projeye katılma nedenleri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
• Öğrenme	4	Bilgi amaçlı
	4	Yeni şeyler öğrenmek
	2	Coğrafyayı öğrenmek
	3	Harita kullanmayı öğrenmek
• Eğlenme	9	Eğlenmek
	3	Eğlenceli vakit geçirmek

Tablo 20’ye göre lise öğrencilerinin projeden beklentileri ise ağırlıklı olarak “*Harita hakkında yeni bilgiler öğrenmek*” olarak ifade edilmiştir.

Tablo 20. Lise öğrencileri grubunun projeden beklentileri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
• Öğrenme	1	Yeni bilgi sahibi olmak
	1	Eğlenmek
	1	Vakit geçirmek
	2	Kendimize bir şeyler katmak
	5	Harita hakkında yeni bilgiler öğrenmek
• Eğlenme	1	Keyif almak
	2	Yön bilgimin gelişmesini

Tablo 21’de de görüldüğü üzere lise öğrencileri, proje etkinliklerinin eğlenerek öğrenme ve sosyalleşme üzerindeki olumlu etkilerinden söz etmişlerdir. Ayrıca etkinliklerde eğlenerek öğrendiklerini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra öğrenciler etkinliklerin en olumsuz/en sevmediğiniz yönleri olarak; “*Yorulmak, Okul kampüsünde oryantiring yapılması, Çok koşmak, Oryantiring sporu yaparken herkes kısa farklar ile çıktığı için hedeflerin belli olması, Olumsuz düşüncem yok, Arazi harita ölçü aletlerinin kullanımı çok zor*” şeklinde görüşlerini ortaya koymuşlardır. Projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri olarak; “*Herkesin sıraya girmesi, Bulmamız gereken yerler daha kolay yerlerde olmalı, Ağaçlık veya ormanlık bir alan olabilirdi, Alan çok az, Üniversite kampüsünde olmalı, Parkur biraz daha zor ve uzun olmalı, Daha çok ödül olmalı, Gerek yok zaten her şey çok güzeldi*” diye ifade etmişlerdir. Projeden elde edilen bilgi ve becerilerin günlük hayatta

kullanımı hakkındaki görüşlerini ise; “Yönümü daha rahat bulabileceğim, Rekabet etmeyi ve başarıyı, Ormanlık alanlarda kaybolmamak için, Adaletli olmayı öğretti, Oyunlarda, Eğitimimde, Pusula ile yön bulmada, Kampa gidersem yardımcı olur, Coğrafya dersinde” şeklinde sıralanmıştır.

Tablo 21. Lise öğrencileri grubunun proje bitiminde etkinlikler hakkındaki düşünceleri
Etkinliklerin en olumlu/en sevdiğiniz yönleri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Öğrenme	8	Hem beden ile hem zihin ile yapılması Bilgilerimizin üstüne güzel bilgiler katma Lokantaya yemeğe gidilmesi
Sosyalleşme	9	Rekabet ve sosyalleşmek Arkadaşlarla buluşma Eğlenmek Spor yapılması Oriyantring
Sportif aktiviteler	9	Hareket etmek Koşmak Yarışma

Etkinliklerin en olumsuz/en sevmediğiniz yönleri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Sportif aktiviteler	15	Yorulmak Okul kampüsünde oryantiring yapılması Çok koşmak Oriantiring sporu yaparken herkes kısa farklar ile çıktığı için hedeflerin belli olması
Duygular	10	Olumsuz düşüncem yok Arazi harita ölçü aletlerinin kullanımı çok zor

Projenin değiştirilmesi/geliştirilmesi gereken yönleri

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
Oriantiring sporu	11	Herkesin sıraya girmesi Bulmamız gereken yerler daha kolay yerlerde olmalı Güneşte koşmasak güzel olurdu Ağaçlık veya ormanlık bir alan olabilirdi Alan çok az Hep kısa mesafede olmalı Daha az yorucu olmalı Üniversite kampüsünde olmalı Daha uzun olmalıydı Parkur biraz daha zor ve uzun olmalı Kullanılan harita daha ayrıntılı olmalı Daha çok etkinlik olmalı Daha çok ödül olmalı
Sosyalleşme	14	Gerek yok zaten herşey çok güzeldi Değişmesin Daha çok aktiviteler yapılmalı

Projeden elde edilen bilgi ve becerilerin günlük hayatta kullanımı

	<i>f</i>	<i>Alıntılar</i>
	25	Yönümü daha rahat bulabileceğim Rekabet etmeyi ve başarıyı Ormanlık alanlarda kaybolmamak için

6. Tartışma

Harita becerileri eğitim yoluyla geliştirilebilir. Okullarda yeniliklerinin uygulanmasını etkileyen ve öğrencilerin öğrenmelerinin niteliğini artıran en önemli etkenlerden biri öğretmenlerdir. Araştırmalar eğitimsel yeniliklerin başarılı bir şekilde uygulanması için öğretmenlerin motivasyonunun en önemli belirleyicilerden biri olduğu göstermektedir (Abrami ve ark., 2004; Cave ve Mulloy, 2010; Lam ve ark., 2009; Schellenbach-Zell ve Gräsel, 2010; Gorozidis ve Papaioannou, 2011). Bu bakımdan öğretmenlerin projeye katılma motivasyonunun ne olduğunun ortaya çıkarılması hem bu projenin iyileştirilmesi hem de gelecekteki projelerin planlanması için oldukça önemlidir. Bu çalışmada öğretmenlerin projeye katılmasının nedenleri bilgi ve becerilerini geliştirmek ve buna bağlı olarak sınıflarındaki uygulamaları çeşitlendirmek olduğu görülmüştür.

Yapılan araştırmalarda temel harita bilgileri konusunda toplumun her kesiminde bu bilgilere ulaşma ve doğru kullanabilme konusunda eksikliklerin olduğu, öğretmenlerin, derslerde kullanılacak yeterli sayıda ve nitelikte araç ve gereçleri temin edemediği görülmüştür. Harita okuryazarlığı, haritalar aracılığıyla görsel olarak gösterilen karmaşık bilgileri yorumlamak için gerekli olan temel bir iletişim aracıdır (Burton ve Pitt, 1993). Haritaları anlamak ve haritalarda yer alan çok sayıda bilgiyi yorumlamak coğrafyanın önemli bir parçası olarak kabul edilir (Bonnet, 2008). Ancak bu çalışma birçok ortaokul ve lise öğrencisi ve farklı branşlardan öğretmenler arasında harita okuryazarlığının eksik olduğunu, katılımcıların yön bulma, koordinatlar, ölçek ve yükseklik gibi temel harita kavramlarını ve hesaplama becerilerini kavramakta zorlandıklarını göstermiştir. Harita öğrenimini etkileyen birçok değişkenler Lloyd ve Bunch (2010) tarafından, biyolojik faktörler, öğrenme ortamı ve bireysel uzamsal biliş olarak tanımlanmaktadır.

7. Sonuç ve Öneriler

Bu proje katılımcılar açısından; ortaokul ve lise öğrencilerinin sosyal bilgiler ve coğrafya derslerindeki harita tabanlı bilgileri daha kolay öğrenmeleri ve kendilerini geliştirmeleri, öğretmenlerin haritacılık alanındaki güncel teknolojik gelişmeleri yakından tanımış olmaları, öğrencileri için ilgi ve merak uyandıracak sunum ve ders materyallerini oluşturmaları, harita temelli akademik çalışmalarını daha kolay yapabilir hale gelmiş olmaları ve katılımcıların kendi yaş gruplarına uygun olarak sanal gerçeklik tekniğini tanımları ve uygulamalarını öğrenmeleri bakımından yararlı olmuştur.

Yapılan ön test sonucuna göre; katılımcılardaki temel harita bilgileri konusundaki eksiklikler tespit edilmiş, sınıf ortamındaki teorik anlatımlar ile pratik olarak arazi ve laboratuvar ortamındaki uygulamalar buna uygun olarak şekillendirilmiştir. Sınıf ortamındaki teorik anlatımlarda kullanılan

mesleki alan yazına ait ifadelerin mümkün olduğunca katılımcıların seviyesine uygun olmasına ve öğrencilerin kullanmaları gereken bilgileri içermesine dikkat edilmiştir.

Yapılan ön testlerin diğer bir sonucu olarak, harita yapım aşamaları, arazi ölçüm aletleri ve kullanılan ölçü yöntemlerinden hangilerinin daha detaylı anlatılması gerektiğine karar verilmiştir. Arazi uygulamaları da bu test sonucuna göre şekillendirilmiştir. Örneğin harita (geomatik, jeodezi ve fotogrametri, harita ve kadaströ) mühendis, tekniker ve teknisyenlerinin kullandığı arazi ölçüm aletlerinden, elektronik total station ve GNSS alıcılarına daha çok zaman ayrılmış ve katılımcıların aktif olarak kullanmaları sağlanmıştır.

Bunun yanında özellikle öğretmenler grubu katılımcıları arasında ileri haritacılık konularında büyük bir merak uyanmış, ders aralarında ve diğer boş zamanlarda katılımcılardan kadaströ ve imar uygulamaları, aplikasyon gibi özel konularda da birçok soru gelmiştir. Proje ekibinde yer alan eğitimciler alanlarında uzman ve tecrübeli olduklarından bu ve benzeri sorulara tatmin edici cevaplar vermişlerdir. Bu da katılımcıların bu alanda yaşadıkları sorunların çözümü ve projenin daha verimli geçmesi açısından memnuniyet verici olmuştur.

Yapılan ön test sonuçlarına göre; katılımcıların Oryantiring sporu konusundaki altyapıları ölçülmüş, sınıf ortamındaki kuramsal anlatımlar ve arazi uygulamaları buna uygun olarak şekillendirilmiştir. Bu test sonucuna göre temel harita bilgileri konularının daha detaylı anlatılması gereği ortaya çıkmıştır. Netcad program uygulamalarını seçerken bu ön testlerin sonucuna göre hangi konularda örnek uygulama yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Projedeki ilgili grupların etkinlik çalışmalarının bitiminde son testler de uygulanmıştır. Son test soruları, ilk test soruları ile aynı tutularak grup üyelerindeki gelişme gözlenmek istenmiştir. Her katılımcı grubuna kendi yaş gruplarına uygun olarak verilen ikişer günlük kuramsal ve uygulamalı eğitimler sonucunda, katılımcıların temel harita bilgileri ve Oryantiring konusundaki bilgilerinin arttığı ve bu konuda bir farkındalık oluşturulabildiği gözlenmiştir. Yapılan son test sonuçları ilk test sonuçlarına göre çok daha iyi bir düzeyde çıkmıştır.

Bu çalışma, öğretmenlerin haritacılık alanındaki CBS ve GPS gibi güncel teknolojik gelişmeleri yakından tanımaları, daha etkili sunum ve ders materyallerini oluşturmaları açısından yeterlik kazanmalarına yardımcı olmuştur. Genel olarak CBS kullanımının, coğrafya dersinde bilgi ve beceriler kazanma sürecinde öğrencilerin öğrenmeye motive edilmesi için faydalı bir araç olduğu belirtilmektedir (Pottle, 2001). Ayrıca günümüzde iş dünyasında yaygın olarak kullanılan CBS, öğrencilerin de birçok coğrafi becerisini geliştirdiğinden eğitimler sırasında kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği önerilmektedir (Bednarz ve Van der Schee, 2006).

Teşekkür

Bu çalışma, 2019 yılı 1. döneminde (Mart, Nisan, Mayıs) TUBİTAK 4004– Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları programı tarafından “Alan Uzmanlarıyla Temel Harita Bilgilerine Yolculuk” başlıklı

TÜBİTAK Projesi (Proje No: 218B149) kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar projeye gönüllü katılan tüm öğretmen ve öğrencilere içtenlikle teşekkür etmektedir.

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

- Abbak A. Harita okuma ve yorumlama becerisinin incelenmesi. *Sosyal Bilimler ve Eğitim Dergisi (JOSSE)* 2021; 1(4): 158-180.
- Ablak S., Aksoy B. Sosyal bilgiler öğretim programında yer alan mekânı algılama becerisine ilişkin öğrenci algılarının incelenmesi. *Turkish Studies* 2018; 13(11): 1-32.
- Ablak S., Aksoy B. An evaluation of map literacy of social studies preservice teachers. *Participatory Educational Research* 2019; 6(2): 158-168,
- Abrami PC., Poulsen C., Chambers B. Teacher motivation to implement an educational innovation: factors differentiating users and non-users of cooperative learning. *Educational Psychology* 2004; 24: 201-216.
- Aksoy B. Determination of map literacy of undergraduate geography students, *Review of International Geographical Education Online* 2019; 9(3): 591-603.
- Alım M. Problems of geography education in Turkey. *International Journal of Human Sciences*. (Online). 2009; 6: 1.
- Alım M. Dokuzuncu sınıf coğrafya öğretim programının öğretmen ve öğrenci görüşlerine göre değerlendirilmesi. Yayınlanmamış doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2003.
- Artvinli E. 2005 yılı 9.sınıf coğrafya öğretim programı: öğretmenler açısından uygulanabilirlik düzeyi. Yayınlanmamış doktora tezi. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2006.
- Artvinli E., Dönmez, L. How do geography textbooks deal with map skills? A comparison of Turkey and England. *Romanian Review of Geographical Education* 2020; 9(2): 23-45.
- Baker TR., Palmer, AM., Kerski JJ. A national survey to examine teacher professional development and implementation of desktop GIS. *Journal of Geography* 2009; 108: 174–185.
- Bednarz SW. Maps and spatial thinking skills in the AP human geography classroom. 2011. http://apcentral.collegeboard.com/apc/public/courses/teachers_corner/151317.html, Erişim tarihi: 15 Nisan 2022.

- Bednarz S., Van der Schee J. Geography and new technologies, in: geographical education in a changing world: past experience, current trends and future challenges, J. Lidstone, M. Williams, Eds. Springer, Netherlands, 2006.
- Beitlova M., Popelka S. Vozenilek V. Differences in thematic map reading by students and their geography teacher. *International Journal of Geo-Information* 2020; 9: 492.
- Brown P. The erosion of geography. *The Guardian Education* 2001; 20 November, 2-3.
- Briney A. The history of cartography: cartography- from lines on clay to computerized mapping. Thought Go, 2019.
- Buğdaycı İ., Bildirici İÖ. Harita kullanımının coğrafya eğitimindeki önemi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mayıs 2009, Ankara.
- Burton M., Pitt I. South African mapcraft. Cape Town: Shuter ve Shooter, 1993.
- Cave A., Mulloy M. How do cognitive and motivational factors influence teachers' degree of program implementation? A qualitative examination of teacher perspectives. *National Forum of Educational Administration and Supervision Journal* 2010; 27: 1-26.
- Clarke D. Are you functionally map literate? *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC) Durban, South Africa, 2003; 10 -16 August, 713-719.*
- Creagh U. Reilly T. Physiological and biomechanical aspects of orienteering. *Sports Med.* 1997; 24(6): 409-418.
- Dransch D. The use of different media in visualizing spatial data. *Computers and Geoscience* 2000; 26: 5-9.
- Erol H. Ortaokul öğrencilerinin harita okuryazarlık becerilerine ilişkin bir değerlendirme. *AJESI Anadolu Journal of Educational Sciences International* 2017; 7(3): 425-457.
- Ertuğrul Z. İlköğretim 6. sınıf öğrencilerinin harita ve küre kullanım becerilerinin tespiti. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
- Farmer-Kris D. Why children still need to read (and draw) maps. Public Broadcasting Service (PBS), 2016.
- Feraco T., Bonvento M., Meneghetti C. Orienteering: What relation with visuospatial abilities, wayfinding attitudes, and environment learning?. *Applied Cognitive Psychology* 2021; 35(6): 1592-1599.
- Fung T., Leung,Y., Lin H. From paper maps to virtual reality-a view from Hong Kong. *The Cartographic Journal* 2004; 41(3): 261-264.
- Gorozidis G., Papaioannou A. Teachers' self-efficacy, achievement goals, attitudes and intentions to implement the new Greek physical education curriculum. *European Physical Education Review* 2011; 17: 231-253.
- Gökçe N. Social studies in improving students' map skills: teachers' opinions. *Journal of Educational Sciences: Theory ve Practice* 2015; 15(5): 1345-1362.

- Güler V. Oryantiring ve çocuklar için oryantiring eğitimi. Lisans Bitirme Tezi, Gazi Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, 2003, Ankara.
- Gündüz G., Erhan A. Sanal gerçeklik: eğitimde sanal gerçeklik yaklaşımları ve elektrik motorlarında sanal gerçeklik kullanımı. 1. International Conference on Virtual Reality, The Book of Proceedings, 04-05 April, Harran University, Şanlıurfa, 2019.
- Havelkoya L., Hanus M. Map skills in education: a systematic review of terminology, methodology, and influencing factors. *Review of International Geographical Education Online (RIGEO)* 2019; 9(2): 361-401.
- Kaldybekova R., Aksoy B., Abdymanapov B. Impact of activity-based map literacy skills teaching on academic achievement levels of secondary school students in Kazakhstan. *Review of International Geographical Education (RIGEO)* 2021; 11(1): 151-167.
- Kazova YM. Sanal gerçeklik nedir nerelerde kullanılır. *Teknoloji Lab.* 2016, <https://www.teknolojilab.com/sanal-gerceklik-nedir-nerelerde-kullanilir/>, Erişim Tarihi: 20 Şubat 2021.
- Kidman G., Palmer G. GIS: The technology is there but the teaching is yet to catch up. *International Research in Geographical and Environmental Education* 2006; 15(3): 289-296.
- Koç H. The impact of the objectives in geography curriculum on learners' map skills, *Yayınlanmamış Doktora Tezi.* Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
- Lam CC., Lai E., Wong, J. Implementation of geographic information system (GIS) in secondary geography curriculum in Hong Kong: current situations and future directions. *International Research in Geographical and Environmental Education* 2009; 18(1): 57-74.
- Laurini R. *Information systems for urban planning.* Taylor and Francis, London, 2001.
- Lee EAL., Wong KW. A review of using virtual reality for learning. In Pan Z., Cheok A.D., Müller W., El Rhalibi A. (Eds.), *Transactions on edutainment I*, Springer Berlin Heidelberg 2008; 231-241.
- Lin H., Chen M. Lu GN., Zhu Q., Gong, JH., You X., Wen YN., Xu BL., Hu MY. Virtual geographic environments (vges): a new generation of geographic analysis tool. *Earth-Science Reviews* 2013; 126: 74-84.
- Lloyd RT., Bunch RL. Learning geographic information from a map and text: learning environment and individual differences. *Cartographica* 2006; 45(3): 169-184.
- Louv R. *Doğadaki son çocuk.* TÜBİTAK Yayınları 2010.
- Lyutyj AA. Yazyk karty: sushchnost', sistema, funkcii (Map language: essence, system, functions), Moskva, GEOS 2002.
- Meadows ME. Geography education for sustainable development. *Geography and Sustainability*, 2020; 1(1): 88-92.

- Mohan A., Mohan, L. Spatial thinking about maps: development of concepts and skills across the early years 2013. <https://media.nationalgeographic.org/assets/file/SpatialThinkingK-5ExSummary.pdf>, Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2022
- National Research Council. Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum. Washington, DC: National Academic Press 2006.
- Ooms K., Maeyer PD., Dupont L., Veken NV., Weghe NV., Verplaetse S. Education in cartography: what is the status of young people's map-reading skills? *Cartography and Geographic Information Science* 2016; 43(2): 134-153.
- Pottle T. *Geography and GIS: GIS activities for students*. Irwin Publishing Ltd., Toronto 2001.
- Pravda J. Kartografická gramotnost, čítanie máp a generovanie poznatkov z máp. (Cartographic literacy, reading maps and generating knowledge from maps) *Geodezia es Kartografia. Obz.*, 2001, 47: 8–9.
- Pravda J., Kusendová D. Počítačová tvorba tematických máp. (Computer Design of Thematic Maps). Univerzita Komenského Bratislava: Bratislava, Slovakia, 2004.
- Prisille C., Ellerbrak M. Virtual reality (VR) and geography education: potentials of 360° 'experiences' in secondary schools. In: Edler, D., Jenal, C., Kühne, O. (eds). *Modern approaches to the visualization of landscapes. raum fragen: stadt region landschaft*. Springer VS, Wiesbaden 2020.
- Ramesh R. Yoon YS, Karwan MH. An optimal algorithm for the orienteering tour problem. *ORSA Journal on Computing* 1992; 4(2): 155-165.
- Renfrew T. *Orienteering*. Human kinetics publishers, Inc. Hong Kong 1997.
- Schellenbach-Zell J., Gräsel C. Teacher motivation for participating in school innovations-supporting factors. *Journal for Educational Research Online* 2010; 2: 34-54.
- Sevim Y. *Antrenman bilgisi. Geliştirilmiş Baskı*, Tutibay Ltd. Şti., Ankara 1997.
- Siegert B. The map is the territory. *Radical Philosophy* 2011; 169: 13–16.
- Sharma S., Agada R., Ruffin J. Virtual reality classroom as an constructivist approach. 2013 *Proceedings of IEEE Southeastcon* 2013; 1-5.
- Sönmez ÖF. *İlköğretim sosyal bilgiler öğretiminde harita becerileri (Doktora Tezi)*. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010
- Sönmez ÖF., Aksoy B. İlköğretim ikinci kademe öğrencilerinin harita beceri düzeylerinin belirlenmesi. *Turkish Studies- International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 2012; 7(1): 1905-1924.
- Stojšić I., Džigurski AI., Maričić O., Bibić, LI., Vučković SD. Possible application of virtual reality in geography teaching. *Journal of Subject Didactics*, 2016; 1(2): 83-96.
- T-Kartor USA Team. *The history of cartography*, 2021.

- Trahorsch P., Bláha JD. Visual representation of the curriculum in geography textbooks: quantification of visuals in educational medium analysis. *International Association for Research on Textbooks and Educational Media* 2019, 11(2): 1-20.
- Tümertekin E., Özgüç N. *Coğrafya, geçmiş kavramlar coğrafyacılar*. İstanbul: Çantay Publisher 2000.
- URL-1. http://www.kantitatifekoloji.net/cbsproje/belgeler/etkinlik_programi.pdf, Erişim Tarihi: 21 Mart 2022
- Ünlü M., Aksoy-Günceğörü H. Coğrafya derslerinde harita becerisine yönelik uygulamaların öğretmen tutumlarına etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi* 2013; 27: 58-71.
- Üzümcü ON. İlköğretim 6. sınıf sosyal bilgiler dersinde harita okuma becerisinin aktif öğrenme yöntemiyle kazandırılması, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- Van Dijk H., Van der Schee J., Trimp H., Van der Zijpp T. Map skills and geographical knowledge. *International Research in Geographical and Environmental Education* 1994; 3(1): 68-80.
- Wanner S., Kerski J. The effectiveness of GIS in high school education. *Proceedings of the 1999 ESRI User Conference, Colorado, USA* 1999.
- Wiegand P. *Learning and teaching with maps*. Routledge, London, UK 2006.
- Yalçınkaya E., Karaca, A. Examination of studies aimed at developing map skills in secondary school students: a meta-analysis. *Review of International Geographical Education*, 2021; 11(1): 236-261.
- Yıldız F. İmar bilgisi planlama- uygulama- mevzuat. 10. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN: 6055426040, 2016.
- Yomralıoğlu T. *Coğrafi bilgi sistemleri/temel kavramlar ve uygulamalar*. İstanbul. Seçil Ofset, 2000.

İki Farklı Yetiştirme Döneminde Mikoriza ve Fosfor Uygulamalarının Dolmalık Biber Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkisi

Çağdaş AKPINAR^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, 80760, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2783-397X>

*Sorumlu yazar: cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.07.2022

Kabul tarihi: 19.09.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Dolmalık biber

Mikoriza

Fosfor

ÖZ

Bu çalışmada tarla koşullarında farklı mikoriza türleri aşılmasına ve fosfor (P) doz uygulamalarına bağlı olarak dolmalık biber bitkisinin gelişimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede mikoriza olarak *G. mosseae* ve *G. etunicatum* türleri, fosfor ise; fosforsuz (-P= 0 kg P₂O₅ ha⁻¹) ve fosforlu (+P= 80 kg P₂O₅ ha⁻¹) olarak uygulama yapılmıştır. Çalışma 1998 ve 1999 yıllarında iki yıl üst üste olacak şekilde yürütülmüştür. Bitkiler hasat edildikten sonra verim, bitki dokularında P ve çinko (Zn) konsantrasyonu ve mikorizal kök enfeksiyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre; mikoriza ve P uygulamasının verime herhangi bir etkisi belirlenmez iken 1998 yılında mikoriza aşılması bitki P ve Zn konsantrasyonuna olumlu etki etmiştir. Her iki yıl yapılan çalışmada *G. mosseae* mikoriza türü ölçülen parametrelerde ön plana çıkmaktadır. P uygulamasının ise ölçülen parametreler üzerine herhangi bir etkisi bulunamamıştır.

The Effect of Mycorrhiza and Phosphorus Applications on the Growth and Nutrient Uptake of Bell Pepper Plant in Two Different Growing Periods

Research Article

Article History:

Received: 08.07.2022

Accepted: 19.09.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Bell pepper

Mycorrhiza

Phosphorous

ABSTRACT

In this study, in field conditions, it was aimed to determine the effect of inoculation of different mycorrhiza species on development of bell pepper plants which is depending on phosphorus dose applications. In the experiment, *G. mosseae* and *G. etunicatum* mycorrhiza species were inoculated with two phosphorus (P) doses (as non-phosphorus (-P= 0 kg P₂O₅ ha⁻¹) and (+P= 80 kg P₂O₅ ha⁻¹)) were applied. The study was carried out for two years in 1998 and 1999. After the plants were harvested, pepper yield, P and Zinc (Zn) concentrations in plant tissues and mycorrhizal root infection analyzes were done. According to the results obtained; While no effect of mycorrhizal inoculation and P application on yield was determined, exceeding mycorrhiza in 1988 had a positive effect on plant P and Zn concentrations. In both years, *G. mosseae* mycorrhiza species was found to be more effective. On the other hand, no significant effect of P application on yield and nutrient concentration were found.

To Cite: Akpinar Ç. İki Farklı Yetiştirme Döneminde Mikoriza ve Fosfor Uygulamalarının Dolmalık Biber Bitkisinin Gelişimi ve Besin Elementleri Alımına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1781-1790.

1. Giriş

Arbusküler mikoriza (AM), bitki kökleri ile mantar arasındaki en yaygın simbiyosis ilişki olarak kara bitki türlerinin yaklaşık %80'inden oluşmaktadır (Simith ve Read, 2008). AM çeşitli familyalardan başlıca tarımsal bitkiler dahil olmak üzere çoğu sebze bitkisi ile simbiyoz oluşturabilir:

Amaryllidaceae (soğan, pırasa, sarımsak), Apiaceae (havuç), Asteraceae (marul), Cucurbitaceae (salatalık), Fabaceae (fasulye ve bezelye) ve Solanaceae (domates, dolmalık biber) vb. Arbusküler mikoriza organik P bileşiklerinden hidrolize fosfatı almaya yardımcı olmak için tıpkı bitki köklerinden de bilindiği gibi (Koide ve Mosse, 2004) fosfatlar salgılayabilir (Joner ve ark., 2000; Koide ve Kabir, 2000).

Mikoriza aşılamanın, tuz stresi altında biber bitkilerinin zar stabilitesini ve bitki büyümesini koruma yeteneğini arttırdığı ve bu durumun P beslenmesi ile ilgili olabileceği rapor edilmiştir (Beltrano ve ark., 2013). Mikoriza infeksiyonunun konukçu bitki üzerindeki en dramatik etkilerinden biri, esas olarak toprakta hareketliliği ve bitkiler tarafından alınabilirliği düşük olan fosforun alımındaki (Ortas, 2003) ve Zn'deki (Kothari ve ark., 1991; Ortas ve ark., 2001) artışıdır. Mikorizal mantarların mikorizal infeksiyon ile topraktan fosfatı alıp konukçu bitkinin köklerine aktarmasının yanında (Asimi ve ark., 1980), makro ve mikro besin elementleri alımında da bir artışa neden olmaktadır (George ve ark., 1995; Garg ve Chandel, 2010). AM aşılansız biber bitkileri, aşılansız bitkilere kıyasla artan klorofil indeksi ve N, P, Fe ve Zn yaprak içeriğine sahip olduğu görülmüştür (Diaz Franco ve ark., 2013). Tanwar ve ark., (2013a,b), AM'nin (*G. mosseae* ve *Acaulospora laevis*) bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (*Pseudomonas fluorescens*) ile birlikte fide şaşırtması sırasında %50 azaltılmış dozda P gübresinin biberin genel büyüme ve verim performansını artırmak için uygulanmış ve sonuçların biber yetiştiriciliğinde P gübresinin sürdürülebilirliği açısından olumlu olduğu görülmüştür. Düşük toprak P konsantrasyonlarında patates (*Solanum tuberosum*) bitkileri, mikorizal olmayan bitkilere kıyasla AM (*G. intraradices*) ile aşılama sonrası büyüme teşviki, daha yüksek kök / sürgün oranı, daha yüksek fosfor kullanım verimliliği ve daha düşük bir yaprak / yumru oranı ortaya çıkardığı tespit edilmiştir (Davies ve ark., 2005). Conversa ve ark. (2013) domates için biyogübre olarak seçilen AM'nin uygulanmasının, bitkinin P gübreleme ihtiyacını azaltırken yetiştiriciler için ürün karlılığını artırmak için yenilikçi bir eko-sürdürülebilir uygulamayı temsil edebileceğini belirtmişlerdir. Çok sayıda araştırma sonucu, AM'nin sadece bitki büyümesi üzerinde değil, aynı zamanda bitki kalitesi üzerinde de olumlu etkilerini doğrulamaktadır (Backhaus, 1983; Schnitzler, 1997; Feldmann et ark., 1999). P gübresinin yetersiz olduğu durumlarda mikorizal aşılamanın domates (Ortas ve ark., 2013; Rafique ve Ortas 2018), biber (Ortas ve ark., 2011a,b; Colla ve ark., 2015; Carballar-Hernandez ve ark., 2018) ve patlıcanın büyümesini arttırdığı bildirilmiştir. Bitkilerin mikorizal mantarlarla simbiyosisi, yüksek ürün verimi elde edilirken fosfatlı gübre tüketimi azaltılır (Silva ve ark., 2016).

Fosfor, ekili bitkilerin maksimum verimi için gerekli olan temel mineral makro besinlerden biridir. Başta fosfor olmak üzere temel bitki besin maddelerinin çoğu toprakta çözünmez halde kalmaktadır (Abd-Alla, 1994; Yadav ve Dadarwal, 1997). Fosforun tek başına toprak üstü kuru madde ve fizyolojik özellikleri artırmasına rağmen, mikorizal mantarlar, çok düşük fosfor koşullarında bile bitkilerin büyümesinin arttırılmasında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Fosfor, bitki büyümesi için hayati öneme sahiptir ve bitkilerin ve biyo-zarların nükleik asit yapısının bir bileşenidir. Bu nedenle hücre bölünmesi ve doku gelişiminde önemlidir (Habibzadeh, 2013). Bitkiler fosfor alımını ve

hareketliliğini artırmak için bir dizi strateji geliştirmiştir, fosfor hücrelerin enerji metabolizmasında yer alır ve bitkilerde birincil ve ikincil metabolitlerin biyosentezi için gereklidir (Marschner, 1996).

Tüm bu literatür çalışmaları ışığı altında çalışmada; tarla koşullarında farklı mikoriza türleri aşılmasının ve fosfor doz uygulamalarına bağlı olarak dolmalık biber bitkisinin gelişimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Deneme, Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma ve Uygulama Alanında yer alan Menzilat toprak serisi üzerinde 1998 ve 1999 yıllarında 2 yıl süreyle kurulmuş olup, toprağa ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneme alanı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Toprak (0-20 cm)
pH	(1:1 H ₂ O)	7,30
Tekstür		Tın
Org. Madde		1,10
Tuz	%	0,06
Kireç		33,02
N (Toplam)		0,11
P	kg ha ⁻¹	71,70
K	mg kg ⁻¹	0,40
KDK	meq 100 g ⁻¹	30,40

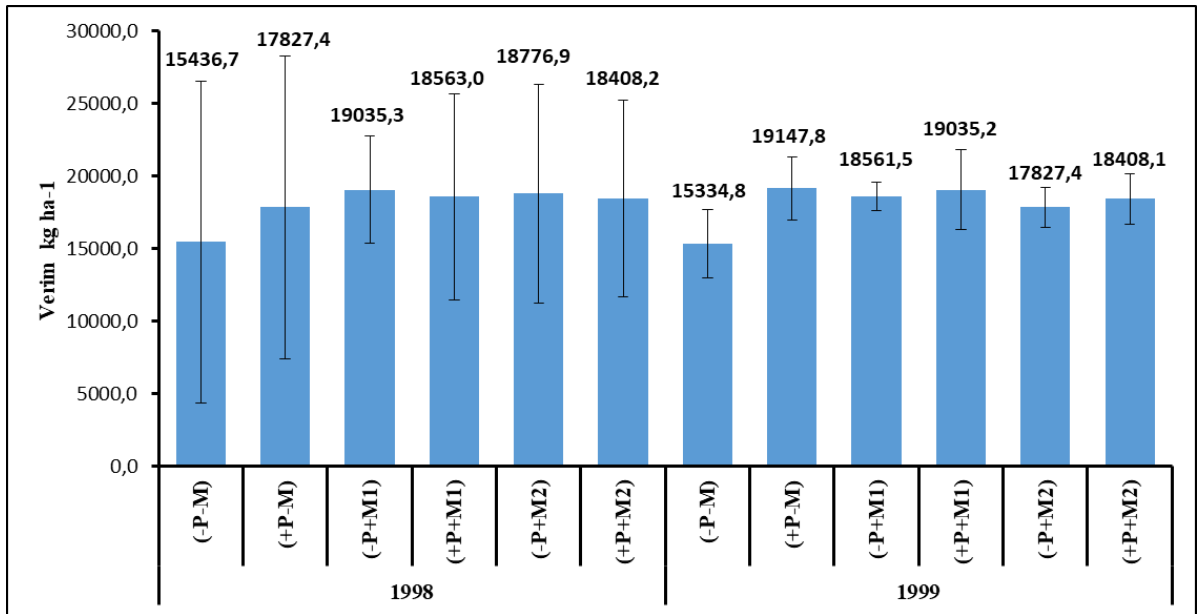
Deneme bitkisi olarak seçilen dolmalık biber tohumları 6:3:1 (kum, toprak ve hayvan gübresi) karışım ortamında tahta kasalarda çimlendirilmişlerdir. Daha sonra üç yaprak olarak çimlenmiş bitkicikler tüplere şaşırtılmıştır, sonrasında fideler dört yaprak olunca tüplerden tarlaya şaşırtılmışlardır. Mikorizalı fideler aynı harç ortamında tohum aşamasından itibaren mikorizalı olarak çoğaltılmışlardır. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 2 mikoriza çeşidi (*G. mosseae* (M1) ve *G. etunicatum* (M2)) 3 fosfor dozu ve üç yinelemeli olarak kurulmuştur. Mikoriza 100 spor/fide olacak şekilde fidelerin kök bölgesine uygulanmıştır. Deneme fosforsuz (-P) kontrol (0 kg P₂O₅ ha⁻¹) ve fosforlu (+P) (80 kg P₂O₅ ha⁻¹) olarak yürütülmüştür. Fosfor kaynağı olarak Triple Süper Fosfat (TSP) gübresi uygulanmıştır. Dikim öncesi parsellere yaklaşık 100 kg N ha⁻¹ KNO₃ olarak serpmeye uygulanmıştır. Parsel boyutları 3 x 3 m= 9 m² olup parsel araları 2 m’dir. Bloklar arası mesafe ise 3 m olacak şekilde ayarlanmıştır.

Gelişme dönemi boyunca el ile toplanan dolmalık biberler tartılarak hektara verim miktarları tespit edilmiştir. Dolmalık Biber bitkisinden alınan yaprak örnekleri ilk olarak musluk suyu ardından %0,1’lik HCl, ve tekrar musluk suyu ve en sonunda saf sudan geçirildikten sonra, 65 °C’de 48 saat süreyle kurutulmuş ve daha sonra agat değirmende öğütülmüştür. Yaprak örneklerinde P konsantrasyonları Murphy ve Riley (1962)’e göre kolorimetrik olarak spektrofotometre 882 nm’de belirlenmiştir. Zn konsantrasyonları ise Kacar ve İnal (2008)’e göre Atomik Absorbsiyon

Spektrofotometre cihazında (Shimadzu AA-7000) yapılmıştır. Kök temizleme ve boyama işlemi Koske ve Gemma (1989)'ya göre, mikorizal infeksiyon oranının belirlenmesi ise Giovenetti ve Mosse (1980)'e göre incelenmeye alınmıştır. Elde edilen veriler SPSS 20.0 for Windows paket programında ANOVA varyans analizi ve uygulamaların ortalamaları arasındaki farklılıklara göre Tukey test analizi yapılarak değerlendirilmiştir.

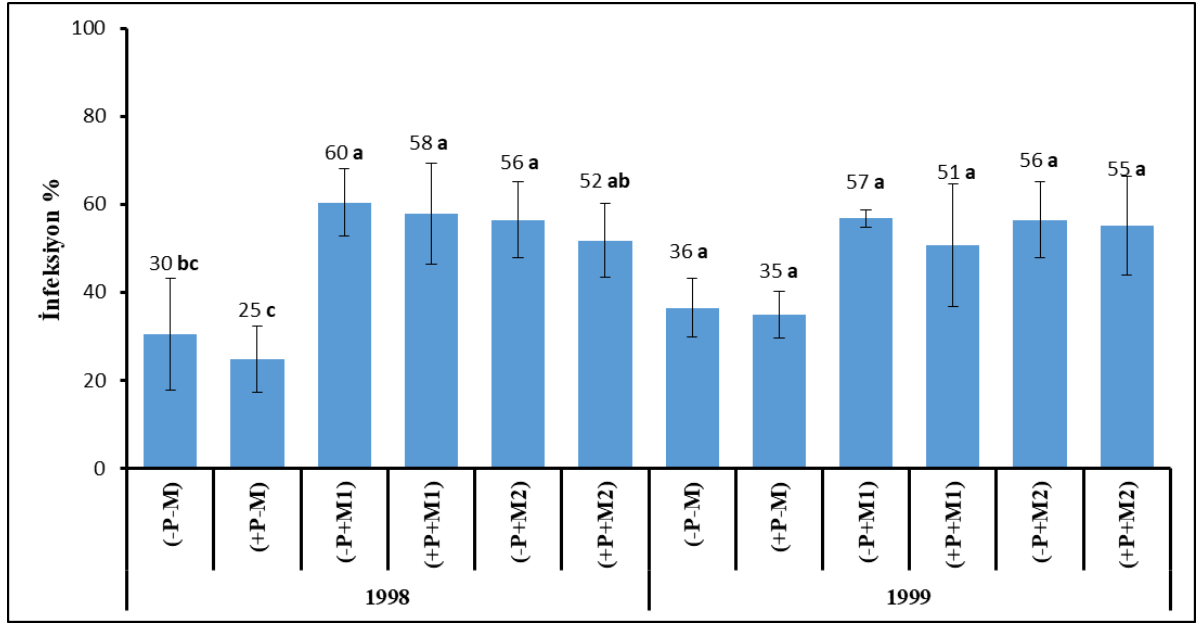
3. Bulgular ve Tartışma

Farklı mikoriza tür aşılması ve fosfor doz uygulamalarının dolmalık biber bitkisinin verim üzerine etkileri Şekil 1'de verilmiştir. Uygulamaların dolmalık biber bitkisinin verim üzerine olan etkisi incelendiğinde en yüksek verim 1998 yılında P uygulanmamış *G. mosseae* ile aşılanmış parsellerde $19035,3 \text{ kg ha}^{-1}$, 1999 yılında ise P uygulanmış ve mikoriza aşılanmamış parsellerde $19147,8 \text{ kg ha}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Her iki yılda da en düşük verim mikoriza ve fosfor uygulanmamış kontrol parsellerinde $15436,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ve $15334,8 \text{ kg ha}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Tablo 3'te de görüldüğü üzere hem mikoriza hem de fosfor uygulamasının dolmalık biberi bitkisinin verimi üzerine istatistiki olarak etki etmediği belirlenmiştir. Muhtemeldir ki tarla koşullarındaki doğal mikorizanın da etkisi ile uygulamalar arasındaki varyasyon farkının büyüklüğü istatistik önemliliği etkilemiştir. Benzer olarak yapılan çalışmada Rafique ve Ortaş'ın (2018) sonuçları tarla koşullarında P gübresi ve mikorizal aşılamanın biber ve patlıcan verimini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Biber (*Capsicum annuum*) bitkileri, AM ile aşılandıktan sonra büyüme artmış ve yüksek verim artışı göstermiştir (Hass ve ark., 1987). Sreenivasa (1994), AM ve organik uygulamaların biber bitkilerinin büyümesini ve verimini iyileştirdiğini bildirmiştir.



Şekil 1. Farklı mikoriza ve fosfor doz uygulamasının dolmalık biber bitkisinin verimi üzerine etkisi (kg ha^{-1})

Araştırmada mikoriza uygulamalarının dolmalık biber bitkisinin kök infeksiyonuna hem 1998 yılın da ($p<0,001$), hem de 1999 yılında ($p<0,030$), istatistiki olarak önemli derecede etki ettiği (Tablo 3), dolmalık biber bitkisine ait en yüksek kök infeksiyonu % 60 ile 1998 yılında *G. mosseae* ile aşılınmış ve P uygulanmamış parsellerde olduğu belirlenmiştir. 1999 yılında ise 1998 yılına paralel olarak %56 ile *G. mosseae* ile aşılınmış ve P uygulanmamış parsellerde tespit edilmiştir (Şekil 2). Mikoriza uygulanmamış parsellerde bitkilerde ölçülen düşük orandaki kök infeksiyonunun toprakta bulunan doğal mikorizaların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ortas (2012) biber bitkisi üzerine yaptığı çalışmada mikoriza aşılmasının kök kolonizasyonunu önemli ölçüde etkilediğini ve kontrol bitki köklerinde %3-10 arasında kolonizasyonu, *G. etunicatum* aşılı bitkilerde %41-72 ve *G. mosseae* aşılı bitkilerde %30-75 arasında kök kolonizasyonu tespit etmiştir. Nedorost ve ark. (2014), altı AM mantar türünü biber bitkileri ile test etmiş ve optimum sulama seviyesinde maksimum verimle %45 kök kolonizasyonu gözlemlemiştir. *G. mosseae* aşılı biber bitkilerinde çeşitli büyüme parametrelerinde değişiklikler gözlenmiş ve mikorizal bağımlılık %48 oranında artmıştır (Latef ve He, 2014). *G. etunicatum* aşılı patlıcanlar, bitki büyüme parametrelerini ve kök kolonizasyonunu arttırmıştır (Matsubara ve ark., 1995).



Şekil 2. Farklı mikoriza ve fosfor doz uygulamasının dolmalık biber bitkisinin mikorizal kök infeksiyonuna etkisi (%)

Farklı AM uygulamalarının ve P doz uygulamasının dolmalık biber bitkisinin P konsantrasyonlarına olan etkisi incelendiğinde, uygulamalar arasında en yüksek % P konsantrasyonu % 0.24 P ile hem 1998 hem de 1999 yıllarında *G. mosseae* mikoriza türü aşılınmış ve P uygulanmamış parsellerde ölçülmüştür. Çoğu uygulamalarda P konsantrasyonu kritik düzeyi olan % 0.20'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Jones, 1998). En düşük P konsantrasyonu, 1998 yılında hiçbir uygulama yapılmamış kontrol bitkilerinde % 0.16 P olarak ölçülmüştür (Tablo 2). Genel ortalamalar incelendiğinde 1998 ve 1999 yılları arasında istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunamamıştır. Bu durumun P'un pH'ya ve

topraklardaki yüksek kireç içeriğine bağlı olarak P'nin kısmen alınmaz forma dönüşmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan mikoriza aşılması 1998 yılında $p<0,001$ 1999 yılında ise $p<0,028$ oranında etki ettiği belirlenmiştir. Thompson ve ark. (2013) tarla koşullarında AM mantar aşılmasının P ve Zn beslenmesini iyileştirdiği genellemesi bulgumuzu desteklemektedir. Benzer şekilde Ortaş ve ark. (2019) yaptığı çalışmada, mikorizal aşılı yeşilbiber, dolmalık biber, patlıcan ve domates bitkilerinin yapraklarında gözlenen P konsantrasyonunun % 0,27 ile %0,33 arasında olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca Ortas (2012)'nin yaptığı çalışmada artan P ilavesi ve mikoriza aşılması bitki dokularındaki P konsantrasyonunu arttırdığı raporlamıştır.

Dolmalık biber bitkisinin çinko konsantrasyonu bakımından değerlendirildiğinde, 1998 yılında $34,1 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn ile en yüksek *G. etnicatum* mikoriza türü ve P uygulanmayan parsellerde belirlenmiştir (Tablo 2). 1999 yılı incelendiğinde ise 37 mg kg^{-1} Zn ile *G. mosseae* mikoriza türü aşılınmış ve P uygulanmamış parsellerde belirlenmiştir. Zn konsantrasyonu genel ortalamalar bazında değerlendirildiğinde 1999 yılı da Zn konsantrasyonu 1988'e göre daha yüksek tespit edilmiştir. 1998 ve 1999 yılında P uygulaması Zn konsantrasyonuna istatistiki olarak etki etmemiştir ($p<0,515$ - $p<0,919$). Fakat mikoriza uygulaması bitkilerin Zn konsantrasyonuna 1998 yılında $p<0,001$, 1999 yılında ise $p<0,030$ önemlilik düzeylerinde etki etmişlerdir. Elbon ve Whalen (2015), mikorizal aşılamanın tarla koşullarında P ve Zn alımının artmasına neden olduğunu bildirmiştir. Ortas ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, domates, biber ve patlıcanları aşılama için beş farklı AM mantar türü kullanmış; mikoriza aşılması P ve Zn alımını önemli ölçüde arttırırken, bitki biokütlesi de aşılınmamış fidelere kıyasla artmıştır.

Tablo 2. Farklı mikoriza ve fosfor doz uygulamasının dolmalık biber bitkisinin P ve Zn konsantrasyonlarına etkisi

Uygulama	P (%)	Zn (mg kg ⁻¹)
1998		
-P-M	0,16 ±0,00 ^b	22,0 ±1,9 ^b
+P-M	0,20 ±0,01 ^b	20,8 ±0,5 ^b
-P+M ₁	0,24 ±0,04 ^a	29,7 ±0,7 ^a
+P+M ₁	0,23 ±0,01 ^a	33,9 ±3,2 ^a
-P+M ₂	0,20 ±0,00 ^{ab}	34,1 ±2,5 ^a
+P+M ₂	0,21 ±0,01 ^a	32,8 ±0,7 ^a
1999		
-P-M	0,19 ±0,02 ^a	28,2 ±4,6 ^a
+P-M	0,21 ±0,02 ^a	29,4 ±4,1 ^a
-P+M ₁	0,24 ±0,04 ^a	37,0 ±8,3 ^a
+P+M ₁	0,22 ±0,01 ^a	36,7 ±8,3 ^a
-P+M ₂	0,18 ±0,01 ^a	36,0 ±4,0 ^a
+P+M ₂	0,19 ±0,01 ^a	36,0 ±3,2 ^a
1998 Ort.	0,21 ±0,01 ^A	28,9 ±1,6 ^B
1999 Ort.	0,20 ±0,02 ^A	33,9 ±5,4 ^A

*Örnekler üç verinin ortalamalarını temsil etmektedir. ± Standart hata $P<0,05$.

Aynı harfler uygulamalar arasında farklılık olmadığını, Büyük harfler ise yılların karşılaştırılmasını belirtmektedir.

Tablo 3. Mikoriza aşılması ve fosfor doz uygulaması altında farklı parametreler için varyans analizi F değerlerinin (olasılık) önemlilik düzeyleri

Uygulama	sd	Verim	P (%)	Zn (mg kg ⁻¹)	İnfeksiyon (%)
1998					
P	1	0,895	0,104	0,515	0,355
Mikoriza	2	0,880	0,001	0,001	0,001
PXM	2	0,942	0,258	0,041	0,963
1999					
P	1	0,110	0,838	0,919	0,485
Mikoriza	2	0,425	0,028	0,063	0,030
PXM	2	0,293	0,368	0,975	0,879

4. Sonuç

1998 ve 1999 yıllarında tarla koşullarında yapılan denemede AM aşılması özellikle *G. mosseae* mikoriza türü aşılması ölçülen parametreler üzerindeki etkisi ile ön plana çıkmaktadır. Bu bölgenin topraklarının yüksek oranda kil, kireç içermesi ve ayrıca organik karbon ve besin maddelerince fakir olması nedeniyle çoğu bitki türünde P, Zn ve Fe vb. besin elementi noksanlıkları görülmektedir. AM aşılmasının kimyasal gübreler ile özellikle P'lu gübre uygulamalarıyla kombinasyonu, dolmalık biber bitkilerinin yetiştirilmesi için özellikle umut verici bir gelecek stratejisi olduğu ortaya çıkmıştır. Uygun P ve Zn gübre doz seçimi veya AM aşılmasının ve aşılama yöntemleri gibi tarımsal üretimde iyi tanımlanmış yöntemlerin geliştirilmesi, bahçecilik sistemlerinde AM'nin pratik uygulaması açısından gelecekteki önemli konuların başında olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmadaki değerli desteklerinden dolayı Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. İbrahim Ortaş'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

- Abd-Alla MH. Phosphatases and the utilization of organic phosphorus by rhizobium leguminosarum biovar viceae. Applied Microbiology 1994; 18: 294-296.
- Asimi S., Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. Influence of increasing soil-phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizae and rhizobium in soybeans. Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique 1980; 58: 2200–2205.

- Backhaus GF. Influence of vesicular–arbuscular mycorrhiza on generative development of *Heliotropium* and *Fuchsia*. *Gartenbauwiss* 1983; 48: 197–201.
- Beltrano J., Ruscitti M., Arango MC., Ronco M. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and P levels. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 2013; 13: 123–141.
- Carballar-Hernandez S., Hernandez-Cuevas LV., Montano NM., Ferrera-Cerrato R., Alarcon A. Species composition of native arbuscular mycorrhizal fungal consortia influences growth and nutrition of poblano pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Applied Soil Ecology* 2018; 130:50–58.
- Colla G., Roupahel Y., Di Mattia E., El-Nakhel C., Cardarelli M. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2015; 95(8): 1706–1715.
- Conversa G., Lazzizzera C., Bonasia A., Elia A. Yield and phosphorus uptake of a processing tomato crop grown at different phosphorus levels in a calcareous soil as affected by mycorrhizal inoculation under field conditions. *Biology and Fertility of Soils* 2013; 49: 691–703.
- Davies FT., Calderón CM., Huaman Z. Influence of arbuscular mycorrhiza and indigenous to Peru and a flavonoid on growth, yield, and leaf elemental concentration of ‘Yungay’ potatoes. *Horticultural Science* 2005; 40: 381–385.
- Diaz Franco A., Alvarado Carrillo M., Ortiz Chairez F., Grageda Cabrera O. Plant nutrition and fruit quality of pepper associated with arbuscular mycorrhizal in greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2013; 4: 315–321.
- Elbon A., Whalen JK. Phosphorus supply to vegetable crops from arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Biological Agriculture & Horticulture* 2015; 31(2): 73–90.
- Feldmann F., Hutter I., Niemann P., Weritz J., Grotkass C., Boyle C. Integration of the mycorrhizal technology into plant production process of medicinal and ornamental plants as well as commercialisation. In: Backhaus, G.F., Feldmann, F. (Eds.), *Arbuscular Mycorrhiza in Plant Production: Examples and Perspectives for Practical Application*. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, vol. 363. Biologische Bundesanstalt, Berlin-Dahlem 1999; 6–38.
- Garg N., Chandel S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 2010; 30: 581–599.
- George E., Marschner H., Jakobsen I. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Critical Reviews in Biotechnology* 1995; 15: 257–270.
- Giovanetti M., Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhiza in roots. *New Phytologist* 1980; 84: 489–500.

- Habibzadeh Y., Pirzad A., Zardashti MR., Jalilian J., Eini O. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mungbean. *Agronomy Journal* 2013; 105: 79–84.
- Hass JH., Bar-Yosef B., Krikun J., Barak R., Markovitz T., Kramer S. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus infection and phosphorus fertilization to overcome pepper stunting after methyl bromide fumigation. *Agronomy Journal* 1987; 79: 905–910.
- Joner EJ., Ravnskov S., Jakobsen I. Arbuscular mycorrhizal phosphate transport under monoxenic conditions using radio-labeled inorganic and organic phosphate. *Biotechnology Letters* 2000; 22: 1705–1708.
- Jones B. *Plant nutrition Manual*. Crc Press. London 1998.
- Kacar B., İnal A. *Plant analysis*. Nobel Pres. 2008; 1241-891
- Koide RT., Kabir Z. Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyze organic phosphate. *New Phytologist* 2000; 148: 511–517.
- Koide RT., Mosse B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza* 2004; 14: 145–163.
- Koske RE., Gemma JN. A modified procedure for staining roots to detect va-mycorrhizas. *Mycological Research* 1989; 92: 486-488.
- Kothari SK., Marschner H., Romheld V. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil* 1991; 131: 177–185.
- Latef A., He CX. Does inoculation with *glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? *Journal of Plant Growth Regulation* 2014; 33(3): 644–653.
- Marschner H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press 1996; 889
- Matsubara Y., Tamura H., Harada T. Growth enhancement and verticillium wilt control by vesicular arbuscular mycorrhizal fungus inoculation in eggplant. *Engei Gakkai Zasshi* 1995; 64(3): 555–561.
- Murphy J., Riley JP. A Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 1962; 27: 31-36.
- Nedorost L., Vojtiskova J., Pokluda R. Influence of watering regime and mycorrhizal inoculation on growth and nutrient uptake of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae* 2014; 559–564.
- Ortas I. Do maize and pepper plants depend on mycorrhizae in terms of phosphorus and zinc uptake? *Journal of Plant Nutrition* 2012; 35: 1639–1656.
- Ortas I. Effect of selected mycorrhizal inoculation on phosphorus sustainability in sterile and non-sterile soils in the Harran Plain in South Anatolia. *Journal of Plant Nutrition* 2003; 26: 1–17.
- Ortas I., Iqbal T., Yucel YC. Mycorrhizae enhances horticultural plant yield and nutrient uptake under phosphorus deficient field soil condition. *Journal of Plant Nutrition* 2019; 1–13.
- Ortas I., Kaya K., Cakmak I. Influence of va-mycorrhiza inoculation on growth of maize and green pepper plants in phosphorus and zinc deficient soils. In: *Plant Nutrition- Food Security and*

- Sustainability of Agro-Ecosystems, eds. W. Horst, M. K. Schenk, A. Burkert, N. Claassen, H. Flessa, W. B. Frommer, Heiner E. Goldbach, H.-W. Olf, V. Romheld, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert, N. von Wiren, and L. Wittenmayer, 2001; 632–633. Berlin: Springer.
- Ortas I., Sari N., Akpınar C., Yetisir H. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* 2011a; 128(2): 92–98.
- Ortas I., Sari N., Akpınar C., Yetisir H. Screening mycorrhizae species for increased growth and P and Zn uptake in eggplant (*Solanum melongena* L.) grown under greenhouse conditions. *European Journal of Horticultural Science* 2011b; 76(3): 116–123.
- Ortas I., Sari N., Akpınar C., Yetisir H. Selection of arbuscular mycorrhizal fungi species for tomato seedling growth, mycorrhizal dependency and nutrient uptake. *European Journal of Horticultural Science* 2013; 78(5): 209–218.
- Rafique M., Ortas I. Nutrient uptake-modification of different plant species in Mediterranean climate by arbuscular mycorrhizal fungi. *European Journal of Horticultural Science* 2018; 83(2): 65–71.
- Schnitzler WH. Growth of tomatoes in substrates with and without mycorrhiza. In: 50th Anniversary of Horticultural University Studies and 85th Anniversary of Mendelium Foundation in Lednice na Morave, 9–12 Sept, 1997; 234–238, 97.
- Silva E., Pinheiro da VFF., Gomes PFM., Filho JMT., Da Silva J. Ness. RLL. Development and mycorrhizal colonisation in embauba seedlings fertilised with natural phosphates and organic material. *Revista Ciencia Agronomica* 2016; 47(2): 256–263.
- Smith SE., Read D. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press. London 2008.
- Sreenivasa MN. VA mycorrhiza in conjunction with organic amendments improve growth and yield of chili. *Environment and Ecology* 1994;12: 312–314.
- Tanwar A., Aggarwal A., Kadian N., Gupta A. Arbuscular mycorrhizal inoculation and super phosphate application influence plant growth and yield of *Capsicum annum*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2013a; 13: 55–66.
- Tanwar A., Aggarwal A., Kaushish S., Chauhan S. Interactive effects of AM fungi with *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and yield of broccoli. *Plant Protection Science* 2013b; 49: 137–145.
- Thompson JP., Clewett TG., Fiske ML. Field inoculation with arbuscular-mycorrhizal fungi overcomes phosphorus and zinc deficiencies of linseed (*Linum usitatissimum*) in a vertisol subject to long-fallow disorder. *Plant and Soil* 2013; 371(1/2): 117–137.
- Yadav KS., Dadarwal KR. Phosphate solubilization and mobilization through soil microorganisms. In: *Biotechnological Approaches in Soil Microorganisms for Sustainable Crop Production*. Dadarwal, R. K. ed., Scientific Publishers, Jodhpur, India. 1997; 293-308.

Optik Cam ve Çeşitlerinde Radyasyon Geçirgenliği ve Soğurma Katsayıları

Şeyma BİBER TEMİRCİK^{1*}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-1650-6666>

*Sorumlu yazar: seymabiber@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.03.2022

Kabul tarihi: 01.06.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Cam

Optik cam

Buzlu cam

Lamine cam

Radyasyon geçirgenliği

Xrf

ÖZ

Cam çeşitlerinin belirli enerji seviyelerinde radyasyona maruz bırakıldığında lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları X-ışını floresans laboratuvarında deneysel çalışılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada optik cam, buzlu cam, lamine cam, siyah cam ve çift cam numunelerinin radyasyon geçirgenliğinin tespiti için Fe-55 X-ışını kaynağı ve Am-241 gama ışını kaynağı kullanılmıştır. Cam numunelerinin 5,9 keV, 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV'lik enerjilerde deneysel olarak lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları bulunmuştur. Cam numunelerinin soğurma katsayısı hesaplanarak yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma ve hesaplamalar sonucu numunelerin hepsinin ışını 5,9 keV'de soğurduğunu göstermiştir. Lineer soğurma katsayısı 17 keV ve 26 keV'de optik camda, 59,543 keV'de siyah camda daha yüksek gözlemlenmiştir. Camların yüzde geçirgenlikleri tablo halinde verilmiştir.

Radiation Permeability and Absorption Coefficients in Optical Glass and its Types

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2022

Accepted: 01.06.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Glass,

Optical glass

Frosted glass

Laminated glass

Radiation transmittance,

Xrf

ABSTRACT

Linear absorption coefficients and mass absorption coefficients of glass types when exposed to radiation at certain energy levels were compared experimentally in the X-ray fluorescence laboratory. In this study, Fe-55 X-ray source and Am-241 gamma ray source were used to determine the radiation transmittance of optical glass, frosted glass, laminated glass, black glass and double glass samples. Experimentally, linear absorption coefficients and mass absorption coefficients of glass samples were found at energies of 5.9 keV, 17 keV, 26 keV and 59.543 keV. The absorption coefficient of the glass samples was calculated and the percentages were compared. As a result of experimental work and calculations, it has been shown that all samples absorbed the beam at 5.9 keV. The linear absorption coefficient was observed higher in optical glass at 17 keV and 26 keV, and higher in black glass at 59.543 keV. Percent transmittances of the glasses are given in the table.

To Cite: Temircik ŞB. Optik Cam ve Çeşitlerinde Radyasyon Geçirgenliği ve Soğurma Katsayıları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1791-1800.

1. Giriş

Çevremizde her alanda sürekli karşılaştığımız ve çoğumuzun görme yetisine araç sağlayan gözlüklerin ana materyali olan camlar yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Yaşam kalitemizi artırmak ve sağlıklı ortamlarda yaşamımızı devam ettirmek için yüksek enerji bölgesindeki ışınları tutabilecek malzemelere talep artmaktadır.

Camların içeriğinde önemli belirli oksitler vardır. Camdaki belirli oksitlere örnek olarak silika (SiO_2), borik asit (B_2O_3) ve fosfor pentoksit (P_2O_5) verilebilir. Ticari amaçlı camlarda borosilikat ve silikat kompozisyonlar büyük çoğunluktadır. Alkali metal oksitlerdeki yapısal değişiklik kompozisyon sınırına bağlıdır. Karışımda köprü olmayan oksijenin bulunması cam viskozitesinin düşmesine sebep olur. Böylece, kristal çekirdeklenme ve büyüme hızının artmasını sağlar (Mc Millan, 1979). Bununla birlikte optik sistemleri oluşturan temel malzeme optik camlardır. Optik camların her çeşidi farklı kompozit yapıdadır. Bu kompozit yapıları oluşturan element ve bileşikler içerisinde, SiO_2 -PbO tanımlı flint camlar kurşun içerikli optik camlardır (Bach ve Neuroth, 1998). Buzlu camlar (opak lens) genellikle çocukluk çağı göz tembelliği ve şaşılığında kullanılan cam çeşididir. Lamine cam, siyah cam ve çift camın ise optik uygulamada, günlük hayatta araç ve gereçlerde malzeme olarak kullanım alanları mevcuttur.

Gözlükler birçok araştırmacı tarafından büyük ilgi görmeye başladı. Günümüzde camlar ve cam seramikler yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ameliyathaneler, röntgen odaları, diş klinikleri, laboratuvarlar, radyasyon terapi odalarında, kontrol odası kazanlarında, camlı kapılarda, kontrol sistemlerinde koruyucu panel olarak kullanılabilir (Aktaş ve ark. 2019; Kaur ve ark.2019).

Geleneksel radyasyon koruyucu malzemeler, yani kurşun (Pb) ve betonlar, toksik etki, mukavemet vb. gibi birkaç dezavantaja sahip olduklarından, birçok araştırmacı, gama radyasyonunu önlemek için cam, alaşım ve polimer gibi bazı yeni ve alternatif koruyucu malzemeler bildirmiştir (Kaur ve ark., 2017; Ersundu ve ark., 2018; Gaikwad ve ark., 2018; Obaid ve ark., 2018; Aygün ve ark., 2019). Çeşitli alman camlarının farklı bileşikli numunelerinde, 0.015 ve 10 Mev enerji aralığında, XCOM programı kullanarak numunelerin foton soğurmasını incelemişlerdir (Sayyed ve ark., 2019). F katkılı SnO_2 cam örneklerinin optiksel ve yapısal karakterizasyonunun yanı sıra radyasyon zırhlama verimliliklerini araştırmış, 5,9543 ve 59,543 keV enerji aralığında teorik kütle soğurma katsayılarını WinXCom yazılımını kullanılarak hesaplamıştır (Tekerek, 2021).

Teknolojinin gelişmesiyle beraber insan sağlığını tehlike altına alan radyasyon yayan cihazların kullanımı da artmıştır (Kılıçarslan ve ark., 2007). Canlılar için en tehlikeli elektromanyetik radyasyon X ve γ ışınlarıdır. Radyasyon demeti, maddeden geçirildiğinde şiddetinde azalma gözlenir. Radyasyon şiddetindeki bu azalma, içerisindeki bulunan elementlere, maddenin kalınlığına ve elementlerin madde içerisindeki konsantrasyonuna göre değişir (Turgut, 2000; Turgut ve ark., 2007). Doğada tüm canlılar ve cansızlar hava, su ve toprakta, üstelik kendi vücutlarının içerisinde doğal radyasyon kaynakları ve ilaveten insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının daima ışınımına maruz kalmaktadırlar. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunabilmek için zırh, mesafe ve zaman olmak üzere bu üç temel hususa dikkat edilmelidir. Radyoaktif kaynaktan çıkan ışına maruz kalınan zaman ne kadar uzunsa veya ışına yayan kaynağa ne kadar yakınsa alınacak radyasyon dozu da o derece artacaktır. Bazı radyonüklidlerin yayımladığı radyasyon o kadar şiddetlidir ki kilometrelerce uzaktan göremediğiniz halde ışınımına maruz kalınabilir. Bunun gibi şiddetli radyoaktif maddelerin etkilerinden yalnızca zırhlayarak korunulabilir. 19. Yüzyıldan bugüne sosyal ve ekonomik değişiklikler sonucu

malzeme teknolojisi ciddi önem kazanmış ve tüm tasarımlarda, tek bir malzeme yerine malzeme çeşitliliği şeklinde çözümler kendini göstermiştir (Eriç, 1994). Bu açıdan radyasyon geçirmeyen malzemelerin araştırılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada optik cam, buzlu cam, çift cam, siyah cam ve lamine cam numunelerinin radyasyon geçirgenliğinin tespiti için Am-241 gama ışını kaynağı kullanılmıştır. Cam numunelerinin 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV'lik enerjilerde deneysel olarak lineer soğurma katsayıları ve kütle soğurma katsayıları bulunmuştur. Cam numunelerinin soğurma katsayısı hesaplanarak yüzdeleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Gama fotonları alfa ve beta parçacıklarından farklı olarak, bir tek elementer durumda enerjilerine ve etkileşim yaptığı maddenin özelliğine göre enerjisinin büyük bir bölümünü, çoğu zaman tamamını kaybeder. Etkileşimde bulunduğu maddenin hangi atomunun yakınında bu kaybın olacağı tamamen ihtimale bağlıdır. Bundan dolayı gama fotonlarının madde tarafından soğurulması sırasında radyoaktif bozunma kanunlarına benzer bir kanun geçerlidir. Maddenin küçük bir dx kalınlığında soğurulan dI ışın şiddeti, bu kalınlığa giren I ışın şiddeti ile orantılıdır.

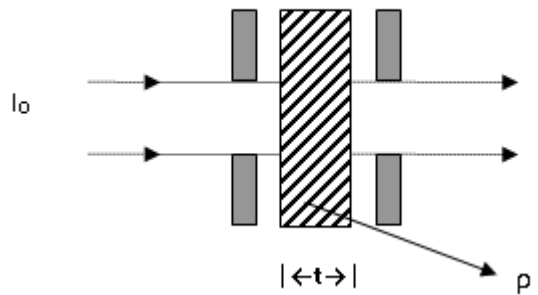
I_0 şiddetinde paralel bir γ -ışını demeti t (cm) kalınlığında, ρ (gr/cm^3) yoğunluğunda homojen bir soğurucuya gönderildiğinde soğurucu maddeden geçen γ -ışını demetinin şiddeti I olur, daima I_0 'dan küçüktür. Bu da γ -ışınlarının madde ile etkileşimlerinde güç yitirdiğini veya soğurmaya maruz kaldığını gösterir (Şekil 1). Burada γ -ışını şiddetindeki azalma dI ise,

$$dI/I = -\mu dt \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Burada μ lineer soğurma katsayısı ve birimi cm^{-1} 'dir. Negatif işaret, γ -ışının maddeyi geçerken şiddetinde azalma olduğunu gösterir. Eşitlik 1 ifadesi düzenlenerek;

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad (2)$$

olur. Bu ifade "Lambert Kanunu" olarak bilinmektedir (Bertin, 1975).



Şekil 1. γ -ışının Soğurulması (Bertin, 1975).

Soğurma katsayılarını Eşitlik 1-2'ye göre ifade edilecek olunursa;

$$I/I_0 = \exp(-\mu t) \quad (3)$$

Bu eşitliğin logaritması alınır,

$$\mu = \frac{\log_e I_0/I}{t} \text{ cm}^{-1} \quad (4)$$

olur.

Kütle soğurma katsayısı lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümüne eşittir (Hubbell, 1999). Kütle soğurma katsayısı radyasyonun madde içinde azalmasını belirleyen bir parametredir. Kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) maddede X-ışınları, γ -ışınları, bremsstrahlung gibi fotonlardan kaynaklı giricilik ve enerji depolama hesaplamalarında kullanılan bir niceliktir (ICRU, 2011). Kütle soğurma katsayısı (μ_m) kimyasal ve fiziksel özelliklerden bağımsız olup elementlerin kendine has atomik bir özelliğidir. Enerji ve atom numarasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kütle soğurma katsayısı lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümüne eşittir (Hubbell, 1999). μ_m ile gösterilir.

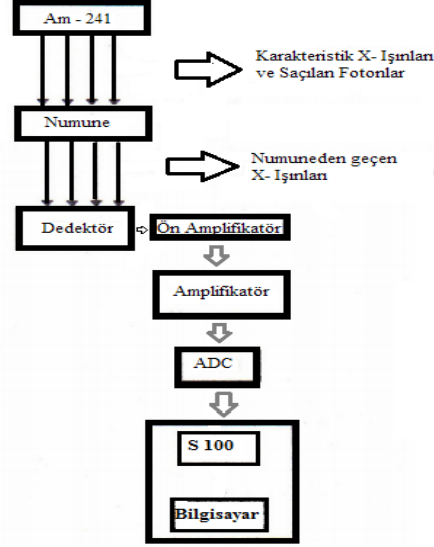
$$I/I_0 = \exp(-\mu_m \rho t) \quad \mu_m = \frac{\mu \text{ cm}^2}{\rho \text{ gr}} \quad (5)$$

Radyasyon geçirme katsayılarının hesaplanması, soğurma çalışmalarında soğurucu malzemenin belli bir kalınlıktan daha ince olduğu durumda bütün parçacıklar soğurucu malzemeyi geçer ve belli bir kalınlıktan daha kalın olduğunda parçacıklar enerjisinin hepsini kaybeder ve soğurucu malzemenin çıkamaz (İçelli, 2002). T geçirme katsayısı olup I/I_0 ile gösterilir.

$$T = I/I_0 \quad (6)$$

Bu çalışmada, 5,9 keV'de rezülasyonu 155 eV olan Canberra marka Si (Li) yarı iletken katıhal detektörü, ^{241}Am (59,543 keV) radyoizotop kaynak ve ^{55}Fe (5,9 keV) radyoizotop kaynak, ön amplifikatör, ADC (Analog-Digital Convertör), sistem 100 bilgisayar kartı kullanılmıştır. Si (Li) yarı iletken katıhal detektörü, yarı iletken silisyum kristalinin örgü boşluklarına Lityum atomları difüzenen, 2 mm kalınlığında, 12,5 mm² aktif alanlı ve 500 volt ters besleme voltajı ile beslenen bir detektör olup, vakum altındadır (Canberra, 1995). Elektronik gürültünün azalması ve oda sıcaklığında buharlaşabilen, iletkenlik arttırıcı Lityum'un buharlaşarak ayrılmasını önlenmek amacı ile sıvı azot (-196 °C) içine daldırılmış ve termal denge sağlanmıştır. Ön amplifikatör, detektöre gelen karakteristik X-ışınlarını birkaç mili volt mertebesinde elektrik pulslarına çevirip, buradan amplifikatöre ulaşan

elektrik pulslarını, 0-10 volt mertebesine yükseltilir. Bu elektrik pulsları, ADC’de sayısal değerlere dönüştürülür. Sayısal değerler 4096 kanallı ekranda büyüklüklerine göre, enerjilerine uygun olan kanallarda pikler oluşturulur. Bu durumda ekranda farklı sayı ve enerjilerde gelen pulslar, incelenen numunelerin karakteristik X-ışınları spektrumunu verir (Durdu, 2001).



Şekil 2. Deney düzeneği

Fizik Bölümü X-ışını floresans laboratuvarında ^{241}Am (59,543 keV) gama ve ^{55}Fe (5,9 keV) x-ışın kaynakları ile Şekil 2’de görünen deney düzeneği kullanılarak, camların radyasyon soğurma katsayıları bulunmuştur. İncelenecek numuneler aynı şartlarda hassas terazi ile tartılarak kütleleri bulunmuş olup hacimleri hesaplanarak yoğunlukları bulunmuştur. Numunelerin her birinin kalınlıkları farklı olduğu için kumpas yardımıyla kalınlıklar belirlenmiştir. Deneye başlamadan önce, sistem boş iken 59,543 keV’lik gama kaynağı ile 1000 sn süre ile sayım yapılmış ve I_0 bulunmuştur. Daha sonrasında numuneler, numune tutturucuya yerleştirilerek tekrar aynı süre sayım yapılmış ve kaydedilmiştir.

Deneyel olarak lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar tablo halinde verilmiş olup grafiklendirilmiştir. Buna ilaveten radyasyon geçirme katsayısı yüzdeleri hesaplanmıştır. Soğurma ölçümlerinde aynı zaman ve deneysel şartlar altında sayımlar yapılarak geçirme katsayıları (I/I_0) ölçülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada 5,9 keV ve 59,543 keV’de numuneler incelenmiş olup 5,9 keV’lik enerjinin tamamını soğurdukları için veri tablolarına eklenmemiştir. Deneyel hesaplamada elde ettiğimiz foton şiddetleri (I ve I_0), t (kalınlık), μ (lineer soğurma katsayısı), ρ (yoğunluk) ve μ_m (kütle soğurma katsayısı) 59,543 keV için Tablo 1, 26 keV için Tablo 2 ve 17 keV için Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. 59,543 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

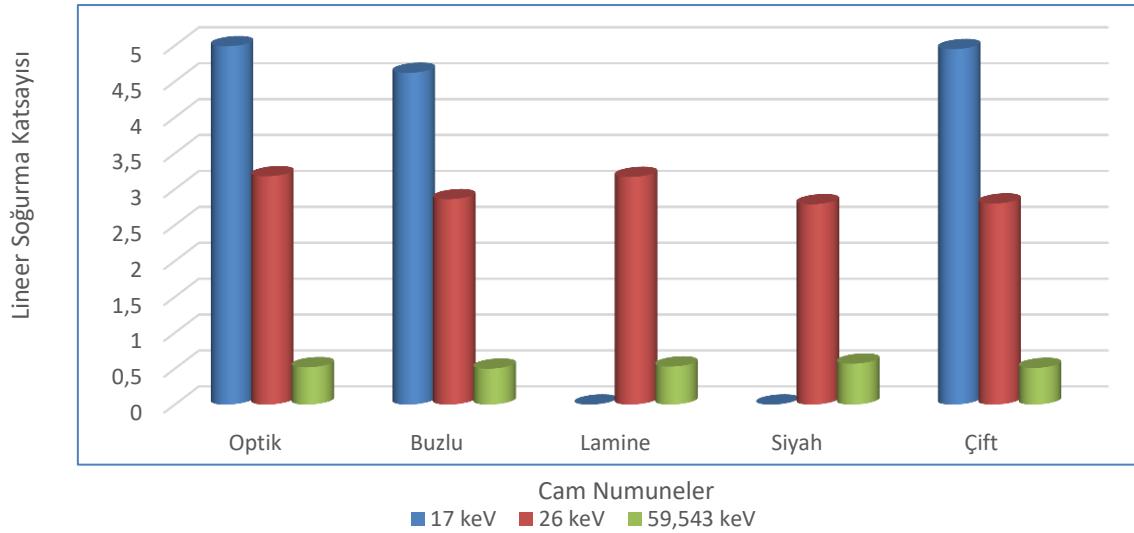
Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
59 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	147377	119799	0,4	0,5179	2,3437	0,2209
Buzlu	147377	120226	0,4	0,5090	2,3634	0,2154
Lamine	147377	119231	0,4	0,5298	2,4240	0,2185
Siyah	147377	93353	0,8	0,5707	2,3960	0,2382
Çift	147377	108209	0,6	0,5149	2,3738	0,2169

Tablo 2. 26 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

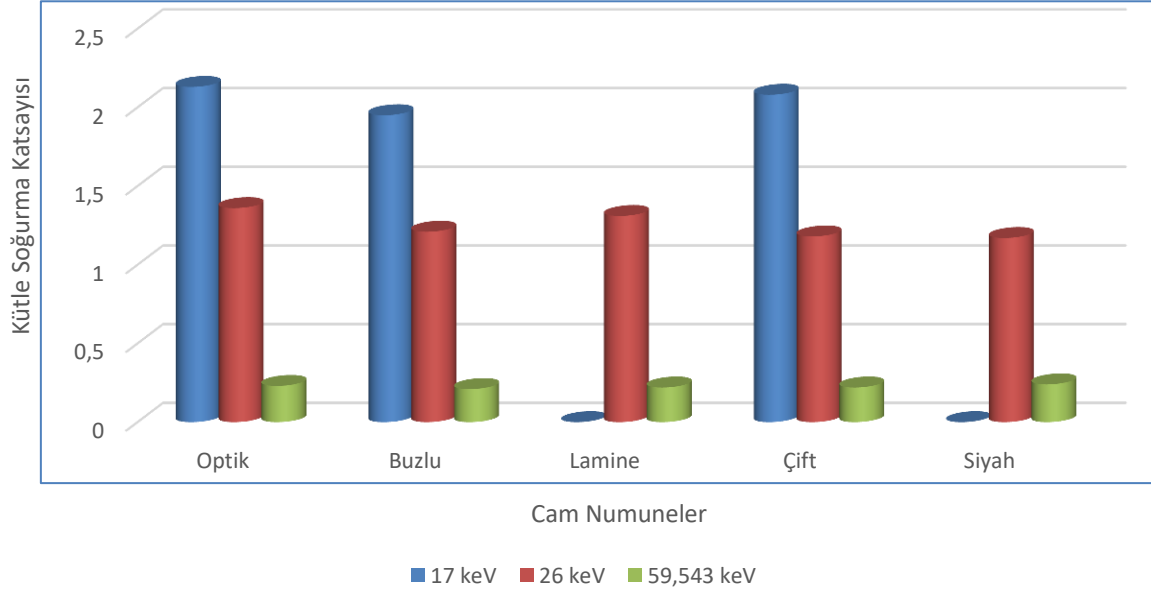
Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
26 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	2958	827	0,4	3,1861	2,3437	1,3594
Buzlu	2958	939	0,4	2,8686	2,3634	1,2137
Lamine	2958	830	0,4	3,1771	2,4240	1,3107
Siyah	2958	315	0,8	2,7996	2,3960	1,1684
Çift	2958	551	0,6	2,8008	2,3738	1,1798

Tablo 3. 17 keV’de cam numunelerin lineer soğurma ve kütle soğurma katsayıları

Cam Numune	I_0	I	t	μ	ρ	μ_m
17 keV	(sayım)	(sayım)	(cm)	(cm^{-1})	(gr/cm^3)	(cm^2/gr)
Optik	745	101	0,4	4,9956	2,3437	2,1315
Buzlu	745	117	0,4	4,6280	2,3634	1,9582
Lamine	745	0	0,4	0	2,4240	0
Siyah	745	0	0,8	0	2,3960	0
Çift	745	38	0,6	4,9596	2,3738	2,0893

**Şekil 3.** 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin lineer soğurma katsayıları

Şekil 3’te görüldüğü gibi cam numunelerin 17 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir.

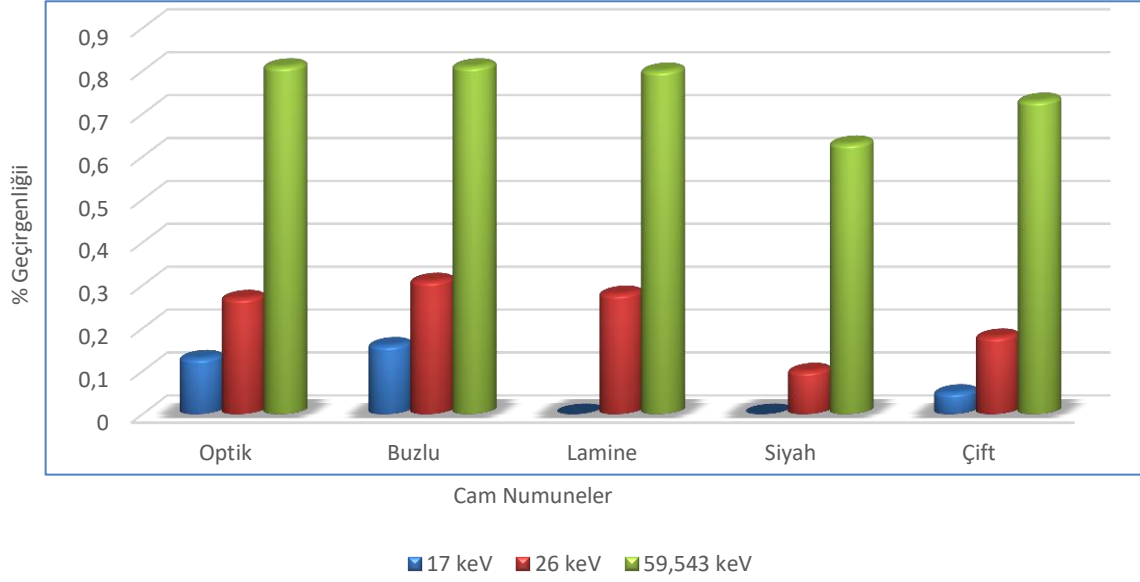


Şekil 4. 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin kütle soğurma katsayıları

Şekil 4’te görüldüğü gibi cam numunelerin 17 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir.

Tablo 4. 59,543 keV,26 keV ve 17 keV’de cam numunelerin geçirgenlik yüzdeleri

Numune Cam	% Geçirgenlik		
	17 (keV)	26 (keV)	59,543 (keV)
Optik	0,13	0,27	0,81
Buzlu	0,16	0,31	0,81
Lamine	0	0,28	0,80
Siyah	0	0,10	0,63
Çift	0,05	0,18	0,73



Şekil 5. 17 keV, 26 keV ve 59,543 keV’de cam numunelerin % geçirgenliği

Şekil 5’te ve Tablo 3’te görüldüğü gibi 17 keV’de, optik cam numunesinin enerjinin %13’ünü geçirip %87’sini soğurduğu gözlemlenmektedir. Buzlu cam ise %16’ını geçirip, %84’ünü soğurmuştur. En az geçiren ise siyah cam numunesidir. 26 keV’de optik cam numunesi enerjinin % 27’sini geçirip %73’ünü soğurmuştur. 26 keV’lik enerjinin % 10’unu geçirip, %90’ını geçiren siyah camdır. Optik cam ve buzlu cam 59,543 keV’ lik enerjinin %81’ini geçirip %19’unu soğurmuştur. 59,543 keV’lik enerjinin % 63’ünü geçirip % 37’sini soğuran siyah cam numunesidir.

4. Sonuçlar

Deneysel çalışma ve hesaplamalar sonucunda, cam numuneleri 5,9 keV’lik enerjili ışınların tamamını soğurmuş olup, bu enerjiye kadar tam zırlama sağlanabilir. Radyasyon enerjisinin artmasıyla birlikte 17 keV’lik enerjili ışınları, lamine cam ve siyah cam numuneleri tamamen soğurmuştur. 17 keV’de optik cam numunesinin ışının %87’sini soğurduğu gözlemlenmiştir. 17 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam olup, lamine ve siyah cam 17 keV’lik enerjili ışınları hepsini soğurduğu görülmektedir. 26 keV’lik enerjili ışınların %10’unu geçirip %90 soğuran siyah camdır. 26 keV’de optik cam numunesi enerjinin % 27’sini geçirip % 73’ünü soğurmuştur. 26 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. 26 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan optik cam numunesi olup, en az ise siyah cam numunesidir. Optik cam ve buzlu cam 59,543 keV’lik enerjinin %81’ini geçirip %19’unu soğurmuştur. 59,543 keV’lik enerjinin % 63’ünü geçirip % 37’sini soğuran siyah cam numunesidir. 59,543 keV’de lineer soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir. 59,543 keV’de kütle soğurma katsayısı en fazla olan siyah cam numunesi olup, en az olan ise buzlu cam numunesidir. Radyasyon enerjisi arttıkça zırlamanın azalması soğurmanın azalması ile

açıklanır. Çalışılan gözlük camı ve diğer camların sonuç değerlerinin birbirlerine yakın olması kimyasal özellikleri ile ilgili olduğunu düşündürmektedir. Camların genel yapısında bulunan belli başlı oksitlerin soğurucu etkiyi artırdığı lehine yorumlanabilir. X ve gama ışını için koruyucu malzemelerin geliştirilmesi, nükleer tıpta laboratuvarlarda, röntgen, Bilgisayarlı Tomografi (BT) gibi radyasyon cihazlarının bulunduğu alanlarda, hastane, diş klinikleri, araştırma laboratuvarlarında güvenli çalışma ortamı sağlamak için bu konuda çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada 5,9 keV'lik enerjiyi tamamen soğuran cam numuneler, çeşitlerine göre tercih önceliği olabilir. 59,543 keV'lik yüksek enerjide bile optik cam ve buzlu camın soğurma katsayısı oldukça iyidir. Çalışma çeşitli cam ve gözlük camlarının radyasyon zırlamasında güvenli alanlar oluşturması için oldukça önem taşımaktadır. Radyasyonun bilinen zararlarının en aza indirgenmesi doğrultusunda çalışılan camlar, literatüre katkı sağlamakla birlikte yeni çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aktas B., Yalcin S., Dogru K., Uzunoglu Z., Yilmaz D. Structural and radiation shielding properties of chromium oxide doped borosilicate glass, *Radiation Physics Chemistry*, 2019; 156: 144-149.
- Aygün B., Şakar E., Korkut T., Sayyed MI., Karabulut A., Zaid MHM. Fabrication of Ni, Cr reinforced new high alloyed stainless steels for radiation shielding applications. *Results in Physics*, 2019; 12: 1-6.
- Bach H., Neuroth N. The properties of optical glasses. Second Corrected Printing; 1998.
- Bertin EP. Principles and practice of X-Ray spectrometric analysis. 2th ed., Plenum Press NewYork; 1975.
- Canberra. Edition Ten Product Catalog. Canberra Endustries, Inc Connecticut, USA; 1995.
- Durdu BG. Re, Pt ve Au elementlerinin l x-ışını şiddet oranlarının enerjiye bağımlılığı. Kahramanmaraş Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:44, Kahramanmaraş, Türkiye, 2001.
- Eriç M. Yapı fiziği ve malzemesi. Literatür Kitabevi: İstanbul, Türkiye; 1994.
- Ersundu AE., Büyükyıldız M., Çelikkilek Ersundu M., Şakar E., Kurudirek M. The heavy metal oxide glasses within the WO₃-MoO₃-TeO₂ system to investigate the shielding properties of radiation applications. *Progress in Nuclear Energy* 2018; 104: 280–287.
- Gaikwad DK., Sayyed MI., Obaid SS., Issa SAM., Pawar PP. Gamma ray shielding properties of TeO₂-ZnF₂- As₂O₃-Sm₂O₃ glasses. *Journal of Alloys and Compounds* 2018; 765: 451–458.

- Hubbell J.H., Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context. *Physics in Medicine & Biology*, 1999; 44: R1–R22.
- ICRU. Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, International Commission on Radiation Units and Measurements Report 83, Bethesda, MD., USA, 2011.
- İçelli O. Bazı bileşik ve kristallerde lineer diferansiyel saçılma katsayılarının açısız dağılımının ölçülmesi ve etkin atom numarasına göre değişiminin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:102, Erzurum, Türkiye, 2002.
- Kaur T., Sharma J., Singh T. Thickness optimization of Sn–Pb alloys for experimentally measuring mass attenuation coefficients. *Nuclear Energy and Technology* 2017; 3(1): 1–5.
- Kaur P., Singh KJ., Thakur S., Singh P., Bajwa BS. Investigation of bismuth borate glass system modified with barium for structural and gamma-ray shielding properties, *Spectrochim. Acta-Part A Mol. Biomol. Spectrosc* 2019.
- Kılıçarslan Ş., Başıyigit C., Akkurt İ. Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 2007; 22(2): 393-399.
- Mc Millan PW. Non-metallic solids. Glass-ceramics, 2th ed. Academic Press: London; 1979.
- Obaid SS., Sayyed MI., Gaikwad DK., Pawar PP. Attenuation coefficients and exposure buildup factor of some rocks for gamma ray shielding applications. *Radiation Physics and Chemistry* 2018; 148: 86–94.
- Sayyed MI., Kakyb KM., Şakar E., Uğur A., Taki MM., Agar O. Gamma radiation shielding investigations for selected germanate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2019; 512: 33-40.
- Tekerek S., Sprey piroliz yöntemiyle SnO₂:F camların üretimi ve radyasyon etkileşim özelliklerinin hesaplanması. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 4(3): 261-273.
- Turgut Ü. Bileşiklerin kütle azaltma katsayılarının tayini ve karışım kuralının geçerliliğinin araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:97, Erzurum, Türkiye, 2000.
- Turgut E., Simsek O., Büyükkasap E. Measurement of mass attenuation coefficients in some Cr, Co and Fe compounds around the absorption edge and the validity of the mixture rule E. *Pramana-Journal of Physics* 2007; 69(2): 199.

Biyolojik Mücadelede Örümceklerin Rolü Üzerine Bir Derleme

Fahrettin Anıl SIRLIBAŞ^{1*}, Şeyma CİVAN², Zübeyde KUMBIÇAK³, Ümit KUMBIÇAK⁴

^{1,2} Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, 50300 Nevşehir

^{3,4} Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 50300 Nevşehir

¹<http://orcid.org/0000-0002-8071-6441>

²<http://orcid.org/0000-0002-3956-3826>

³<http://orcid.org/0000-0001-5949-1092>

⁴<http://orcid.org/0000-0002-1294-3706>

*Sorumlu yazar: f.anilsirlibas@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.11.2021

Kabul tarihi: 19.03.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Pestisit

Entegre zararlı yönetimi

Biyolojik mücadele

Örümcek

ÖZ

Tarımsal alanlarda kullanılan pestisitlerin çevreye ve canlılara olumsuz etkileri sebebiyle zararlılarla mücadelede Entegre Zararlı Yönetimi gibi yeni yöntemler öne çıkmaktadır. Mekanik, kültürel ve biyolojik uygulamaları bir bütün haline getiren Entegre Zararlı Yönetiminin en önemli parçalarından biri de Biyolojik Mücadeledir. Biyolojik Mücadele, zararlıların doğal düşmanları olan karnivor avcılar kullanılarak zararlı yoğunluğunun istenilen seviyede tutulmasını sağlayan bir mücadele yöntemi olarak bilinmektedir. Bu avcılar içerisinde bulunan örümcekler; çeşitli avlanma stratejileri, farklı habitat tercihleri, aktif dönem farklılıkları, birim zamanda çok sayıda av tüketebilmeleri ve uzun açlık dönemlerine uyum sağlayabilmeleri gibi özellikleri sebebiyle Biyolojik Mücadele için önem arz etmektedir. Yapılan çalışmalar örümceklerin buğdaydaki yaprak bitlerini, elma bahçelerinde güveleri ve yaprak bitlerini, zeytin bahçelerinde Diptera ve armut bahçelerinde ise pisillidlerin yoğunluğunu azalttığını göstermektedir. Örümceklerin bulunmadığı arazilerde ise zararlı yoğunluğu artış göstermektedir. Örümcekler arasında görülen karnibalizm ve örümcek topluluklarının diğer doğal düşmanlarla beslenmeleri Biyolojik Mücadeleyi bozabilmektedir. Bu sebeple örümceklerin av stratejileri, beslenme tercihleri, habitat tercihleri gibi özellikleri üzerine daha çok çalışma yapılması onların Biyolojik Mücadelede daha etkili kullanılmalarına katkı sağlaması açısından büyük önem arz etmektedir.

A Review on the Role of Spiders in Biological Control

Review Article

Article History:

Received: 12.11.2021

Accepted: 19.03.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Pesticide

Integrated pest management

Biological control

Spider

ABSTRACT

Due to the negative effects of pesticides used in agricultural fields on the environment and living beings, new methods such as Integrated Pest Management stand out in the struggle against pests. Biological Control is one of the most important parts of Integrated Pest Management that integrates mechanical, cultural, and biological practices. Biological Control is known as a method of struggle that allows the pest density to be maintained at the desired level using carnivorous predators, which are natural enemies of pests. Spiders in these predators; it is important for Biological Control due to its characteristics such as various strategies, different habitat preferences, active period differences, ability to consume a large number of preys in unit time and adapt to long hunger periods. Studies indicate that spiders reduce aphids in wheat, moths and aphids in apple orchards, dipterans in olive orchards, and psyllid in pear orchards. In the absence of spiders, the density of pests increases. Cannibalism among spiders and the feeding of spider communities with other natural enemies can decimate Biological Control. For this reason, it is of great importance to conduct more studies on the characteristics of spiders such as hunting strategies, feeding preferences, habitat preferences in order to contribute to their more effective use in Biological Control.

1.Giriş

Tarım zararlıları ile mücadelede pestisit kullanımı geçmişten günümüze artarak devam eden ve en çok kullanılan yöntemlerden biri olarak bilinmektedir. Bu kimyasallar, zararlı popülasyonunu yok ederek tarımsal verimi arttırmasına rağmen çevreye ve canlılara ciddi zararlar vermektedir. Bu sebeple organik tarım ya da Entegre Zararlı Yönetimi gibi daha sağlıklı yöntemler ile tarımsal alanlarda pestisit kullanımı ve buna bağlı olumsuz etkiler azaltılmaya çalışılmaktadır (Michalko, 2017).

Entegre Zararlı Yönetimi zararlıları baskılamak amacıyla mekanik, kültürel ve biyolojik mücadele yöntemlerinin; güvenli, ekonomik ve çevre dostu bir şekilde birleştirilmesi olarak ifade edilmektedir (Sanyal ve ark., 2008). Entegre Zararlı Yönetiminin en önemli parçalarından birisi Biyolojik Mücadele yöntemidir. Biyolojik Mücadele bitkisel üretimde ekonomik kayıplara yol açan zararlılara karşı doğada bulunan faydalı organizmaların kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Birişik, 2013). Faydalı organizmalar zararlı yoğunluğunu istenilen düzeyde tutabilen ve onların doğal düşmanları olan karnivor avcılar olarak bilinmektedir. Doğal düşmanlar parazitoit, patojenler ve predatörler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Predatörler içerisinde en bilineni ise genel avcılar içerisinde yer alan Gerçek örümceklerdir (Areneae).

Arthropoda şubesinin Arachnida sınıfı içerisinde yer alan Gerçek örümcekler (Areneae) tanımı yapılmış 129 cins ve 49849 tür sayısı ile büyük çeşitlilik göstermektedir (World Spider Catalog, 2021). Örümcekler buğday, pirinç gibi yıllık (Schmidt ve ark., 2003; Traugott ve ark., 2012) veya üzüm bağları (Costello ve Daane, 1999; Thomson ve Hoffman, 2010) ve meyve bahçeleri (Miliczky ve Horton, 2005; Horton ve ark., 2012) gibi çok yıllık olmak üzere tarımsal ekosistemlerde en bol bulunan avcılar olarak bilinmektedir. Çeşitli avlanma stratejileri kullanan, farklı habitat tercihi ve aktif dönemi olan Areneae türlerinin, diğer doğal düşmanlardan farklı olarak çok sayıda av tükettikleri bilinmektedir. Bu durum onları Biyolojik Mücadelede kullanılan önemli bir organizma konumuna getirmektedir.

Gerçek örümcekler, Biyolojik Mücadele elemanı olarak birçok karakteristik özelliğe sahiptir. Birim zamanda çok sayıda zararlıyı öldürebilmeleri tarımda zararlı salgınının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Sunderland ve ark., 1986). Örümcekler direkt olarak zararlılara yönelerek tarım ürünlerine zarar vermemektedir. Uzun açlık dönemlerine iyi uyum sağlamaları tarım alanlarında her dönem yüksek bollukta bulunmalarını sağlamaktadır (Riechert ve Harp, 1987). Yapılan çalışmalar örümceklerin bulunduğu arazilerde zararlı yoğunluğunun önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bir mısır tarlasında bulunan örümceklerin yaprak zararlısı, thrips ve yaprak biti yoğunluğunu baskıladığı tespit edilmiştir. Örümceklerin buğdaydaki yaprakbitlerini (Schmidt ve ark., 2004; Birkhofer ve ark., 2008), elma bahçelerinde güveler ve yaprak bitlerini (Isaia ve ark., 2010; Lefebvre ve ark., 2017) zeytin bahçelerinde meyve sineklerini (Picchi ve ark., 2016) ve armut bahçelerinde pisilidlerin yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir (Pekár ve ark., 2015; Michalko ve ark., 2017). Bu sonuçları

destekleyecek şekilde Gerçek örümceklerin uzaklaştırıldığı arazilerde Gerçek örümcek bulunanlara kıyasla daha fazla zararlı tespit edilmiştir.

Biyolojik Mücadele elemanı olarak kullanılan bir avcı zararlı yoğunluğunu ekonomik değerini altındaki seviyelere indirmesinin yanı sıra bu yoğunluğu zaman içerisinde doğal dengede tutabilmelidir (Maloney ve ark., 2003). Etkili ve ekonomik bir zararlı kontrolü ancak bu şekilde mümkün olabilir. Eğer bir avcı, zararlı popülasyonunu doğal denge içerisinde tutmakta başarısız olursa, bulunduğu ekosistemin faunasında bulunan bir karnivor olarak yerini alır (Morin, 1999; Pedigo, 2001). Bu ekosistemlerde bulunan bu tip etkisiz avcılar, zararlı bir fitofag türün süreç içerisinde salgın yapmalarına da olanak sağlamış olabilirler. Örümcekler bir ekosistemdeki zararlı yoğunluğunu azaltmada ve doğal dengede tutmada, beslenme zincirinin en tepesinden en aşağıya kadar tüm türleri etkileyebilmektedir. Özellikle beslenme davranışı dışında avlarını öldürüp bırakmaları, avlanma stratejilerindeki uzmanlıkları, hayatta kalabilmek için mutlak ava ihtiyaç duymaları, üzerlerinde bulunan doğal baskılardan dolayı üreme kapasitelerinin, diğer bir ifadeyle sayısal ve işlevsel tepkilerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Sarma ve ark., 2013).

2. Yukarıdan Aşağıya (Top-Down) Etkiler

Yukarıdan aşağıya etki bir tarımsal ekosistemde zararlılar nedeniyle oluşan hasarın avcının varlığıyla birlikte azalmaya başlaması olarak bilinmektedir (Maloney ve ark., 2003). Benekli salatalık böceklerinin (*Diabrotica undecimpunctata* Mannerheim, 1843, Coleoptera: Chrysomelidae), *Hogana helluo* (Walckenaer) örümceğinin bulunduğu arazilerde kabak bitkileri üzerinde beslenmelerini azalttığı tespit edilmiştir (Snyder ve Wise, 2000). Benzer şekilde Linyphiidae familyasına ait örümceklerin varlığında tütün zararlısı olarak bilinen *Spodoptera littoralis* (Fabricius) 'in tütün bitkilerine zarar vermesinin engellendiği tespit edilmiştir (Riechert ve Lockley, 1984).

3. Beslenme Dışı Avını Öldürme Davranışı (Savurgan Öldürme) (Wasteful Killing)

Gerçek örümcekler çoğunlukla ihtiyaçları olandan daha fazla av yakalamaktadır. Dünya genelinde örümcek toplulukları tarafından her yıl 400-800 milyon ton av tüketildiği tahmin edilmektedir (Nyffeler ve Birkhofer, 2017). Örümceklerin beslenmesinde en yüksek oranda avlarını Hemiptera, Coleoptera, Diptera ve Hymenoptera gibi böcek takımlarına bağlı türlerin olduğu bilinmektedir (Michalko ve Pekar, 2016). Beslenme dışı avını öldürme davranışına (Savurgan avcılığa) Araneidae ve Uloboridae gibi ağ örücü örümcek familyaları en güzel örnektir. Bu örümcekler zararlıları ağlarına çekerek tüketebileceklerinde daha fazla zararlı yakalamaktadır (Craig ve Bernard, 1990; Craig ve ark., 1996). Persons (1999), *Schizocosa ocreata* (Hentz) adlı örümceğin ihtiyacı olandan daha fazla sayıda Ağustosböceği türü avladıklarını tespit etmiştir. Bu sonuç diğer likosit örümceklerle de benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Gerçek örümcek familyaları ve sıklıkla avladıkları zararlı böcek takımları (Richert ve Bishop, 1990; Nyffeler ve ark., 1994; Young ve Edwards, 1990)

Örümcek Aileleri	Avladıkları Zararlılar
Ağ Örücü Araneidae Tetragnathidae	Hemiptera Diptera Orthoptera
Levha-ağ örücü Linyphiidae Dictynidae Theridiidae	Diptera Hemiptera Homoptera
Huni-ağ örücü Agelenidae Atypidae Ctenizidae Eresidae	Orthoptera Coleoptera Lepidoptera
Avcı Lycosidae Oxyopidae Thomisidae Salticidae	Orthoptera Hemiptera Hemiptera Lepidoptera Thysanoptera ve Diptera

4. Örümcek Toplulukları

Tarımsal bir ekosistemde bir arada bulunan farklı örümcek toplulukları; avlanma stratejisindeki uzmanlıkları, habitat tercihleri ve aktif dönem gibi farklılıklar nedeniyle Biyolojik Mücadelede etkili olabilir.

Örümcekler, avlarını yakalamak için çeşitli av stratejileri kullanmaktadır (Cardoso ve ark., 2011). Farklı avlanma stratejilerine sahip örümcekler zararlı kontrolündeki verimliliklerinde farklılık göstermektedir (Michalko ve Pekar, 2016). Örneğin koşucu-zemin avcı örümceği *Pardosa littoralis* Banks, iki yaprak zararlısı türünün yoğunluğunu azaltmada ağ örücü *Grammonota trivitatta* Banks (Linyphiidae) türüne göre daha etkilidir (Denno ve ark., 2004). Benzer şekilde Liu ve ark. (2015), çay alanlarında koşucu örümcekler ile yaprak zararlısı arasında negatif bir ilişki bulurken, ağ örümcekleriyle zararlı arasında hiçbir ilişki bulamamıştır. Japonya’da pirinç tarlalarındaki örümcek aileleri ve ağ çeşitliliğinin zararlı kontrolündeki rollerinin araştırıldığı bir çalışma ise örümceklerin ağ çeşitliliklerinin zararlıların kontrolüne katkı sağlayabileceğini göstermiştir (Betz ve Tschardtke, 2017). Örümcek türleri belirli bir tarımsal habitatı kapsarken farklı mikro habitatlarda farklı zararlı türleri bulunmaktadır. Bu durum örümceklerdeki av uzmanlaşmasının ekosistemlerde çalışılabilecek bir özellik olduğunu göstermektedir. Avlanma faaliyetlerinde zamansal farklılıklar örümcekler arasında besin seçiminin özelleşmesine neden olmaktadır (Sarma ve ark., 2013). Gece ve gündüz dolaşan örümcekler elma ağaçlarının gövdesinde ve yapraklarında avlanırken tuzak kuran örümcek türleri ise yapraklar ve çiçekler arasında avlarını aramaktadır. Tübüler ağ türleri ağaç kabuklarının altında avlanırken ağ dokumacılar ise yapraklar ve dallar arasındaki farklı mikro habitatlarda bulunmaktadır (Marc ve Canard, 1997).

Örümceklerde habitat tercihlerinin yanı sıra av tercihleri de bulunmaktadır (Sarma ve ark., 2013). Bir avcının av tercihi alternatif avın görece bolluğuna göre değişmektedir (Schmidt ve ark., 2012a). *Pardosa milvina* (Hentz)'nin sinekler kıt olduğunda beklenenden daha sık ancak aşırı olduklarında beklenenden daha az sıklıkla avladıklarını belirlemiştir. Benzer bir çalışmada *Pardosa pseudoannulata* (Bosenberg ve Strand)'nın düşük yaprak piresi yoğunluğunda bir mirid böcek yerine bir yaprak piresini tercih ettiği ancak yüksek yaprak piresi yoğunluğunda mirid böceklerini tercih ettiği görülmüştür (Heong ve ark., 1991). Avın boyutu da örümceklerin beslenme tercihlerini etkilemektedir. Genellikle sadece boyutlarının %50 ile %80'i kadar olan avlarla beslenmeyi tercih eden örümcekler daha küçük boyuttaki avları yok saymaktadır (Nyffeler ve ark.,1994; Marc ve Canard, 1997; Marc ve ark., 1999).

5. İşlevsel ve Sayısal Tepki

Sayısal tepki; avlanma yoğunluğunda bir artıştan sonra avcı sayılarında bir artış olarak tanımlanmaktadır (Sarma ve ark., 2013). Kümelenme (avın bol olduğu alanlarda toplanma) ve üreme yoluyla avcılar arasındaki değişiklikleri açıklamaktadır (Marc ve ark., 1999). İşlevsel tepki ise avlanma oranı ile av yoğunluğu arasındaki ilişki olarak bilinmektedir (Kobayashi ve ark., 2011). Holling (1959) işlevsel tepkiyi Tip I, Tip II ve Tip III olarak 3 gruba ayırmaktadır. Tip II'nin zararlı salgınını önlemede daha etkili olduğu düşünülmektedir (Michalko, 2017). Huang ve ark., (2018) *Plutella xylostella* (Linnaeus) larvalarının üzerindeki işlevsel tepkileri Lycosidae ailesinden üç (*Pardosa laura* Karsch, *Pardosa astrigera* L.Koch ve *Pardosa pseudoannulata* Bösenberg & Strand) ve Thomosidae ailesinden bir (*Ebrechtella tricuspidata* Fabricius) örümcek türü ile araştırmıştır. Çalışmada örümceklerin işlevsel tepki modeli Holling Tip II olarak tespit edilmiştir. Örümceklerin beslenmesinin, *Plutella xylostella* (Linnaeus) yoğunluğundaki artışa bağlı olarak önce arttığı daha sonra sabit bir seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Örümceklerin avlanma oranlarında ise artan avcı yoğunluğu sebebiyle azalma gözlemlenmiştir.

Tip III tepki, bir gecikme süresiyle başlayan ve ardından artan bir oranda av tüketiminde bir artışla devam eden sigmoidal bir tepki olarak tanımlanmaktadır (Sarma ve ark., 2013). Öğrenme ve / veya av değiştirme nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Sinclair ve ark., 1998). Örümceklerin öğrenme davranışlarına Salticidae familyasından *Portia* cinsine ait örümcekler örnek olarak gösterilmektedir. Bu cinse ait örümcekler av üzerindeki avlanma stratejilerini deneme yanılma yöntemi ile ayarlamaktadır. Bu yöntemde avlanma başarısını belirli bir strateji ile ilişkilendiren örümcekler sonraki avlarında bu hareket tarzını hatırlayarak kullanmaya devam etmektedir (Jackson & Pollard, 1996). Lycosidae familyasına ait örümceklerin öğrenme tutumları, son avları ile alakalı özel kimyasal işaretleri algulamaları sebebiyle ilgi çekici olarak görülmektedir. Lycosidae familyasından *Hogna helluo*'nun son tükettiği avla ilgili kimyasal işaretleri tercih edip etmediği Ağustos böcekleri ile test edilmiştir. Sonuçlar *Hogna helluo*'nun son tükettiği zararlı türünü hatırladığını ve beslenmeden geçen

8 günün sonunda bile yiyecek arama tercihlerinde bu türe yöneldiğini göstermiştir (Persons ve Rypstra, 2000).

Sayısal tepkide örümcekler av sayılarına hem kümelenme (avın bol olduğu alanlarda toplanma) hem de üreme tepkileri vermektedir (Riechert ve Lockley, 1984; Marc ve ark., 1999). Tarımsal ekosistemlerde, örümcekler avların bol olduğu yerlerde yaşarlar ve azalan av yoğunluğundan daha yüksek av yoğunluğuna sahip yerlere göç ederler (Riechert ve Lockley, 1984). Theridiidae familyasına ait *Achaearana tepidariorum* C.L. Koch avın yoğunluğu yetersiz ise ağlarını avların daha çok olduğu bölgeye kurarak burada kümelenmeye sebep olmuştur. Huni şeklinde ağ ören *Agelenopsis aperta* Gertsch türünün de benzer davranış göstererek avın bol olduğu alanlarda kümelendiği belirlenmiştir (Sarma ve ark., 2013). Örümceklerin üreme tepkisi üreme süreleri birkaç hafta olan zararlı böceklerle karşılaştırıldığında genellikle ünivoltin olmaları (yılda sadece bir döl vermeleri) nedeniyle daha az incelenmiştir. Ağ dokuyan örümceklerden *Neriene radiata* (Walckenaer) (Linyphiidae), *Mecynogea iemniscata* (Walckenaer), *Metepiera labyrinthea* (Hentz) (Araneidae) ve *Agelenopsis aperta* (Agelenidae) türlerinin tüketilen av miktarlarının artmasıyla doğurganlıkta bir artış gösterdikleri belirlenmiştir (Riechert ve Lockley, 1984; Marc ve ark.,1999). Doğurganlıktaki bu artışın av popülasyonunun izlenmesine izin verme derecesi, zararlı böcek türlerine kıyasla örümcek nesillerinin uzun sürelerde ortaya çıkması sebebiyle sınırlı kalmaktadır. Özetle üreme süreleri birkaç hafta olan zararlı böcekler kısa sürede birçok nesil elde edebilirken; örümcekler ise ünivoltin olmalarından dolayı avın yeni nesil oluşturma hızına yetişememektedir. (Sarma ve ark., 2013).

6. Örümceklerin Biyolojik Mücadele Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Çalışmalar

Gerçek örümceklerin biyolojik mücadele potansiyelleri ile ilgili çalışmalar laboratuvar koşullarında ya da doğal ortamları olan tarla ve bahçe ekosistemlerinde yürütülmektedir. Laboratuvar çalışmalarında belirli sürelerde zararlılar ile beslenen örümceklerin beslenme tercihleri ve beslenme ortalamalarına bakılarak biyolojik mücadele potansiyelleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Ghavami (2008), örümceklerin pamuk zararlıları üzerindeki biyolojik mücadele potansiyelini incelemiştir. Laboratuvar koşullarında, beş örümcek türü (*Thanatus formicinus* (Clerck), *Oxyopes salticus* (Hentx), *Cheiracanthium erraticum* (Walckenaer), *Philodromus cespitum* (Walckenaer), *Thyene imperialis* (Rossi)) dört pamuk zararlısı (*Bemisia tabaci*, *Aphis gossypii*, *Empoasca decipiens* ve *Nezara viridula*) ile beslenerek örümceklerin beslenme tercihleri ve beslenme miktarları kaydedilmiştir. Örümceklerin beslenme ortalamaları dikkate alındığında en çok tüketilen zararlı türlerinin *Aphis gossypii* ve *Empoasca decipiens* olduğu belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada Oxypidae familyasından örümceklerin pamuk zararlıları *Aphis gossypii*, *Spodoptera litura* ve yaprak piresi ile mücadele potansiyelleri araştırılmıştır. Ghavami (2008)'nin çalışması ile uyumlu olarak örümceklerin en fazla *Aphis gossypii* türünü tükettikleri tespit edilmiştir (Jeyaparvathi ve ark. 2013). Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar örümceklerin pamuk zararlıları ile mücadelede etkili olabileceğini göstermektedir.

Bağ alanları zararlılarından yaprak biti, thrips ve unlu bit üstündeki avcı etkileri 6 örümcek türü (*Argiope anasuja* Thorell, *Leucauge decorate* Blackwall, *Araneas mitificus* Simon, *Thomisus spectabilis* Doleschall, *Telamonia dimidiata* Simon ve *Ageleana spe.*) kullanılarak çalışılmıştır. Laboratuvar koşulları altında her örümcek 10 gün boyunca zararlılar ile beslenerek avcı potansiyelleri belirlenmiştir. Sonuçlar, *Argiope anasuja* ve *Thomisus spectabilis* türlerinin bağ zararlılarının yoğunluğunu azaltmada diğer türlerden daha etkili olduklarını göstermiştir (Patil ve ark. 2018).

Salticidae familyasına ait *Phidippus clarus* (Keyserling) 'un biyolojik mücadele potansiyeli tatlı fesleğen bitkisi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, sadece tatlı fesleğen bitkisinin bulunduğu kontrol grubu; tatlı fesleğen ve bitki zararlısının bulunduğu uygulama grubu ve bitki zararlısı ile örümceğin aynı anda bulunduğu ikinci bir uygulama grubu olmak üzere üç grup kullanılmıştır. Tek başına bitki zararlısına maruz kalan tatlı fesleğen bitkilerinin kontrol grubuna göre daha kısa kaldıkları kaydedilmiştir. *Phidippus clarus* (Keyserling) 'un bulunduğu uygulama grubunda ise 1 hafta sonra zararlı popülasyonunda azalma tespit edilmiştir (Hoefler ve ark., 2006). Salticidae familyasından bir başka tür olan *Plexippus petersi* (Karsch)'nin kara sinek olarak bilinen *Musca domestica* ile mücadele potansiyeli araştırılmıştır. *Musca domestica* tüm dünyada yayılış gösteren ve insanda ciddi hastalıklara sebep olan bir zararlı olarak bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar *Plexippus petersi* türünün bulunduğu ortamlarda *Musca domestica* popülasyonunu ciddi oranda azalttığını göstermiştir (Jesikha 2012). Salticidae familyasından türlerin farklı zararlılarla mücadelede etkili olabileceğini gösteren bu çalışmalar *Musca domestica* gibi insektisit direnci geliştiren zararlı türleriyle mücadelede örümceklerin potansiyellerinin anlaşılması açısından da önem arz etmektedir. Pestisit direnci gösteren zararlılarla mücadelede örümceklerin katkısını gösteren başka bir çalışma *Helicoverpa spp.* larvaları ile yapılmıştır. Kullanılan larvasitlere karşı direnç geliştiren bu larvalar soya fasulyesi bitkilerinde hasara sebep olmaktadır. *Helicoverpa armigera* (Hübner) larva ve yumurtalarının av olarak kullanıldığı çalışmada; Lycosidae, Clubionidae, Oxyopidae, Salticidae ve Thomosidae familyasından örümceklerin larvasit direnci gösteren *Helicoverpa spp.* ile mücadeleye katkıda bulunabileceği belirlenmiştir (Pearce ve ark., 2004).

Gelişen moleküler teknikler örümceklerin biyolojik mücadele potansiyellerinin DNA temelli araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Avcıların mide ve bağırsaklarındaki av kalıntılarını ortaya çıkarmak için türe özgü DNA dizilerinin kullanıldığı PCR teknikleri kompleks besinsel etkileşimleri araştırmak için geliştirilmiştir (King ve ark. 2008). Birkhofer ve ark., (2008) tarafından yapılan DNA tabanlı bağırsak içeriği analizi ile örümceklerin buğdayda hasara sebep olan yaprak biti popülasyonunun büyümesini geciktirdiği tespit edilmiştir. Yaprak biti DNA'sının tespiti için yaprak bitine özgü primerlerin kullanıldığı bu analizde *Xysticus cristatus* Clerck (Thomisidae) ve *Pardosa palustris* Linnaeus (Lycosidae) türlerinin bağırsaklarında yüksek oranda yaprak biti DNA'sı tespit edilmiştir. Kobayashi ve ark., (2011) tarafından *Pirata subpiraticus* (Lycosidae), *Tetragnatha spp.* (Tetra-gnathidae), ve *Pachygnatha clercki* Sundevall (Tetragnathidae), türlerinin pirinç zararlısı *Stenotus rubrovittatus* (Hemiptera: Miridae) ile av- avcı ilişkileri DNA tabanlı bağırsak içeriği analizi

kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar örümceklerdeki av DNA'sı oranlarının tüm örümcek gruplarındaki avın yoğunluğu ile önemli ölçüde arttığını göstermiştir.

Örümceklerin Biyolojik Mücadele potansiyelinin belirlenmesi üzerine yapılan laboratuvar çalışmalarının yanı sıra pirinç ve çeltik tarlaları, zeytin ve meyve bahçeleri gibi örümceklerin bol bulunduğu ekosistemlerde de çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda örümceklerin zararlı popülasyonu üzerindeki etkilerinin yanı sıra tarım uygulamaları ve arazi faktörlerinin de örümcek ve zararlı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Akdeniz ülkeleri için ticari öneme sahip zeytin bahçelerinde arazi faktörlerinin örümcekler ve zararlılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dikenli çalılar ve odunların arttığı zeytin bahçelerinde örümcek popülasyonunun azaldığı belirlenmiştir. Örümcek popülasyonundaki bu azalmanın zeytin bahçelerinde hasara sebep olan zeytin meyve sineği popülasyonunda artışa sebep olduğu kaydedilmiştir (Picchi ve ark., 2016). Baba ve ark., (2018) Japon çeltik tarlarında çevre dostu tarım uygulamaları ve arazi faktörlerinin örümcek toplulukları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Örümcek topluluklarının buldukları arazilerin 200 metre yakınındaki ormanın büyüklüğüne göre azalmaya başladıkları görülmüştür. Pestisit kullanılmayan arazilerde örümcek popülasyonu artarken küçük kahverengi bitki zararlısı (SBPH) *Laodelphax striatellus* Falle'n popülasyonunda azalma tespit edilmiştir.

Michalko (2017), kış aylarında armut bahçelerinde zarara sebep olan *Cacopsylla pyri* üzerindeki avcı etkilerini *Philodromus spp.* (Philodromidae) ve *Anyphaena accentuata* Walckenaer (Anyphaenidae) örümcek türleri ile araştırmıştır. Bu örümceklerin kış aylarından ilkbaharın başlarına kadar armut bahçelerindeki *Cacopsylla pyri* popülasyonunu azalttıkları tespit edilmiştir. Agelenidae, Linyphiidae ve Araneidae familyalarından 14 örümcek türünün *Metcalfa pruinosa* üzerindeki avcı etkileri yaz aylarında çalışılmıştır. Örümceklerin avlanma oranları Temmuz ayından Ağustos ayının ortalarına kadar yüksek iken Eylül ayından itibaren azalmaya başladığı belirlenmiştir (Giuseppe, 2017). Farklı mevsimlerde yürütülen bu çalışmalar örümceklerin yılın her döneminde zararlılarla mücadeleye katkı sağlayabileceklerini göstermektedir.

7. Türkiye'deki Örümcek Türlerinin Biyolojik Mücadele Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Çalışmalar

Ülkemizde örümceklerin biyolojik mücadelede kullanımı ile ilgili fazla çalışma olmadığı ve araştırmaların tarım alanlarındaki örümcek faunalarının belirlenmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Gaziantep ilinde yapılan çalışmada ülkemiz için ticari öneme sahip Antepfıstığı bahçelerinde var olan örümcek toplulukları tespit edilmiştir. Daha sonra yapılan laboratuvar çalışmaları ile Antepfıstığı zararlıları *Eutelia aduatrix* (Hübner) için iki, *Sulamicerus stali* (Fieber) için yedi *Megastigmus pistaciae* (Walker) dört, *Chaetoptelius vestitus* (Mulsant & Rey) üzerine üç örümcek türünün avcı etkileri tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Antepfıstığı bahçelerinde bulunan örümcek türlerinin zararlı baskılamada önemli rol oynadıklarını göstermiştir (Akpınar ve Varol, 2019).

Şimşek ve Bolu (2016) Diyarbakır ili Antep fıstığı bahçelerinde 27 adet doğal düşman tespit etmiştir. Bu düşmanlardan biri olan örümceklerden özellikle aktif gezenler incelenmiştir. Theridiidae ve Araneidae familyasına ait bireylerin Antepfıstığı bahçelerinde yaygın olarak bulunduğu tespit edilmiştir.

Kaçar ve ark. (2016) ticari öneme sahip olan zeytinliklerde örümcek dağılımını araştırmıştır. Çalışma, Doğu Akdeniz bölgesinde Adana, Mersin, Kahramanmaraş, Hatay ve Osmaniye; Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Gaziantep ve Kilis olmak üzere 7 il 24 farklı bölgede yürütülmüştür. Bu bölgede bulunan zeytinliklerde tür çeşitliliği açısından baskın familyalar; Salticidae (%23.9), Thomisidae (%18.1) ve Theridiidae (%12.3) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Thomisidae familyasından *Thomisus sp.* 9 ay ve Theridiidae familyasından *Theridion sp.* 10 ay boyunca 24 bölgenin tamamında en yaygın bulunan türler olarak kaydedilmiştir.

Karacadağ bölgesinde çeltik tarlalarındaki doğal düşmanların belirlendiği bir çalışmada örümcek familyalarından Thomisidae, Philodromidae, Salticidae'den 2'şer tür Tetragnathidae familyasından ise 1 tür belirlenmiştir (Duman ve ark., 2013).

Adana ilinde turuncgil yaprak galeri güvesi (*Phyllocnistis citrella* Stainton) popülasyonunun azalmasına sebep olan doğal düşmanlar belirlenmiştir. Bir limon bahçesinden seçilen 10 ağaçtan rastgele 10 sürgün toplanmıştır. Laboratuvar koşullarında zararlının hangi doğal düşmanlar tarafından ne oranda tüketildikleri araştırılmıştır. İlk yıl zararlının %15'i, ikinci yıl %16,61'i son yılda %10,21'i örümcekler tarafından tüketildiği belirlenmiştir. (Elekçioğlu, 2013).

Mardin Kızıltepe ve Şanlıurfa Akçakale ilçelerinde bulunan yonca alanlarındaki örümcek faunaları çalışılmıştır. Bu alanlarda 11 örümcek familyasına ait 30 tür belirlenmiştir. Philodromidae familyasına ait *Thanatus vulgaris* (Simon) en fazla bulunan tür olurken (%42,30) Araneidae familyasından *Hypsosinga pygmaea* (Sundevall) (%4,84) en az bulunan tür olarak kaydedilmiştir (Efil ve ark., 2012).

8. Sonuç

Örümcekler, diğer doğal düşmanlara kıyasla tarım ve bahçe ekosistemlerinde en çok bulunan avcılar olarak bilinmektedir. Tarım ürünlerine zarar vermeden doğrudan zararlıya yönelmeleri pestisit kullanımının azalmasına olanak sağlayarak onları Biyolojik Mücadele'nin önemli bir parçası konuma getirmektedir. Örümcekler işlevsel ve sayısal tepkiler, avlanma stratejilerindeki uzmanlıkları, habitat ve av tercihleri ve yukarıdan aşağıya etkiler ile zararlı yoğunluğunu istenilen seviyelere getirerek dengede tutabilirler. Tüm bu özellikler örümceklerin tarım arazileri ve bahçelerdeki varlıklarının korunması ve arttırılmasının önemini göstermektedir. Bu sebeple;

- 1) Pestisit uygulamalarının örümceklerin daha az aktif olduğu dönemlerde yapılması ya da örümceklere daha az etki edecek pestisitler kullanılması
- 2) Örümceklere yaşam alanı sağlayacak bitki varlıklarının (yonca bitkisi gibi) arttırılması
- 3) Alternatif av türlerinin bulunması için mahsul çeşitliliği arttırılması
- 4) Koruma ve nem sağlamak amacıyla arazilerin saman ve kuru otlar ile örtülmesi

5) Tarım alanlarının işlenmemiş bırakılması gibi önlemler alınarak örümcek topluluklarının tarım arazilerindeki varlıklarının korunması ve artırılması sağlanabilir (Sarma ve ark., 2013).

Yapılan çalışmalar örümceklerin zararlılar ile mücadelede önemli bir Biyolojik Mücadele elemanı olabileceğini göstermektedir. Ancak örümcek topluluklarının diğer doğal düşmanlarla da beslenmeleri ve aralarında görülen kannibalizm biyolojik mücadeleyi bozabilmektedir. Sonuç olarak tarımsal ekosistemlerde örümceklerin av stratejileri, beslenme tercihleri, habitat tercihleri gibi özellikleri üzerine daha çok çalışma yapılması onların Biyolojik Mücadele'deki önemlerinin anlaşılacak Entegre Zararlı yönetimine adaptasyonlarının sağlanması sürdürülebilir tarım açısından büyük önem taşımaktadır.

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

- Akpınar A., Varol Mİ. Gaziantep ili Antepfıstığı bahçelerinde örümcek faunası ve zararlılara karşı laboratuvarında etkinliklerinin araştırılması. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 12(1): 527-532.
- Baba YG., Kusumoto Y., Tanaka K. Effects of agricultural practices and fine-scale landscape factors on spiders and a pest insect in Japanese rice paddy. *BioControl* 2018; 63: 265–275.
- Betz L., Tschardt T. Enhancing spider families and spider webs in Indian rice fields for conservation biological control, considering local. *Journal of Insect Conservation* 2017; 21: 495-508.
- Birişik N. Teoriden pratiğe biyolojik mücadele ve gelecek stratejisi. In: Birişik N. (ed) *Teoriden Pratiğe Biyolojik Mücadele*. Ankara: Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı 2013; 13-36.
- Birkhofer K., Gavish-Regev E., Endlweber K., Lubin YD., Von Berg K., Wise KH., Scheu S. Cursorial spiders retard initial aphid population growth at low densities in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research* 2008; 98: 249–255.
- Cardoso P., Pekar S., Jocqué R., Coddington J. Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders. *PLoS One* 2011; 6: 1-10.
- Costello MJ., Daane KM. Abundance of spiders and insect predators on grapes in central California. *Journal of Arachnology*, 1999; 27(2): 531-538.
- Craig CL., Bernard GD. Insect attraction to ultraviolet reflecting spiders webs and web decorations. *Ecology* 1990; 71: 616-623.

- Craig CL., Weber RS., Bernard GD. Evolution predator-prey systems: Spider foraging plasticity in response to the visual ecology of prey. *The American Society of Naturalists* 1996; 147: 205-229.
- Denno RF., Mitter MS., Langellotto GA., Gratton C., Finke DL. Interactions between a hunting spider and a web-builder: consequences of intraguild predation and cannibalism for prey suppression. *Ecological Entomology* 2004; 29(5): 566-577.
- Duman M., Mutlu Ç., Büyük M., Karaca V. Karacadağ çeltik ekim alanlarında bulunan faydalı böcek, örümcek ve polinatör türlerin belirlenmesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi* 2013; 4(1): 53-64.
- Efil L., Bayram, A., Deltshv C. Güneydoğu Anadolu Bölgesi yonca alanlarındaki örümcek türlerinin (Araneae) belirlenmesi. *Türkiye Entomoloji Bülteni* 2012; 2(1): 31-35.
- Elekçioğlu NZ. Determination of the natural mortality factors of *Citrus leafminer* [*Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae)] Adana. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 2013; 37(1): 21-30.
- Ghavami S. The Potential of predatory spiders as biological control agents of cotton pests in Tehran Provinces of Iran. *Asian Journal of Experimental Sciences* 2008; 22(3): 303-306.
- Giuseppe C. Spiders (Araneae) as predators of the exotic *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Homoptera: flatidae) in the Central Western Po Flood Plain (Northern Italy). *Indian Journal of Arachnology* 2017; 6(1): 72-80.
- Heong KL., Bleih S., Rubia EG. Prey preference of the wolf spider, *Pardosa pseudoannulata* (Boesenberg et Strand). *Population Ecology* 1991; 33(2): 179-186.
- Hoefler CD., Chen A., Jakob EM. The potential of a Jumping Spider, *Phidippus clarus*, as a biocontrol agent. *Journal of Economic Entomology* 2006; 99(2): 432-436.
- Holling CS. The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European Pine Sawfly1. *The Canadian Entomologist* 1959; 91(5): 293-320.
- Horton DR., Miliczky ER., Jones VP., Baker CC., Unruh TR. Diversity and phenology of the generalist predator community in apple orchards of Central Washington State (Insecta, Araneae). *Canadian Entomologist* 2012; 144(5): 691-710.
- Huang X., Quan X., Wang X., Yun Y., Peng Y. Is the spider a good biological control agent for *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)? *Zoologia* 2018; 35: 1-8.
- Isaia M., Beikes S., Paschetta M., Sarvajayakesealu S., Badino G. Spiders as potential biological controllers in apple orchards infested by *Cydia spp.* (Lepidoptera: Tortricidae. In: Nentwig W., Entling M., Kropf C. (ed) 2010; Bern: Proceedings of the 24th European Congress of Arachnology.
- Jackson R., Pollard S. Predatory behavior of jumping spiders. *Annual Review of Entomology* 1996; 41: 287-308.

- Jeyaparvathi S., Baskaran S., Bakavathiappan G. Biological control potential of spiders on the selected cotton pests. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences* 2013; 4(4): 2568-2572.
- Jesikha M. The potential of *pilixeppus petersi* as a biocontrol agent on *muska domestica*. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 2012; 2(3): 30-31.
- Kacar G., Kara PA., Ulusoy MR. Distribution of spiders (Araneae) in olive groves in the Eastern Mediterranean and South-Eastern Anatolia Regions of Turkey. *Pakistan Journal of Zoology* 2016; 48(3): 735-745.
- King R., Read D., Traugott M., Symondson W. Molecular analysis of predation: A review of best practice for DNA-based approaches. *Molecular Ecology* 2008; 17: 947-963.
- Kobayashi T., Takada M., Takagi S., Yoshioka A., Washitani I. Spider predation on a mirid pest in Japanese rice fields. *Basic and Applied Ecology* 2011; 12: 532–539.
- Lefebvre M., Franck P., Olivares J., Ricard JM., Mandrin JF., Lavigne C. Spider predation on rosy apple aphid in conventional, organic and insecticide-free orchards and its impact on aphid populations. *Biological Control* 2017; 104: 57-65.
- Liu S., Li Z., Sui Y., Schaefer DA., Alele PO., Chen J., Yang X. Spider foraging strategies dominate pest suppression in organic tea plantations. *BioControl* 2015; 60(6): 839-847.
- Maloney D., Drummond FA., Alford, R. Spider predation in agroecosystems: Can spiders effectively control pest populations? *Technical Bulletin* 2003; 190: 1-32.
- Marc P., Canard A. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 1997; 62: 229-235.
- Marc P., Canard A., Ysnel F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 1999; 74(1): 229-273.
- Michalko R. Spiders as bioagents of pome orchard pests. Mendel University Faculty of Science Ph.D. Dissertation, pages:148, Bruno,Czech Republic 2017.
- Michalko R., Pekar S. Different hunting strategies of generalist predators result in functional differences. *Oecologia* 2016; 81(4): 1187-1197.
- Michalko R., Petráková L., Sentenská L., Pekár S. The effect of habitat complexity and density-dependent non-consumptive interference on pest suppression by winter-active spiders. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2017; 242: 26-33.
- Miliczky ER., Horton DR. Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control* 2005; 33(3): 249-259.
- Morin PJ. *Community ecology*. Malden, MA: Blackwell Science; Inc 1999.
- Nyffeler M., Birkhofer K. An estimated 400–800 million tons of prey are annually killed by the global spider community. *Science of Nature* 2017; 104.
- Nyffeler M., Sterling WL., Dean DA. How spiders make a living. *Environment Entomology* 1994; 23: 1357-1367.

- Patil R., Patil Y., Salunkhe P. Spider A potential biocontrol agent in insect pest management of vineyard. *International Journal of Creative Research Thoughts* 2018; 6(2): 1422-1427.
- Pedigo LP. *Entomology and pest management*. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall; 2001 .
- Pearce S., Hebron WM., Raven RJ., Zalucki MP., Hassan E. Spider fauna of soybean crops in south-east Queensland and their potential as predators of. *Australian Journal of Entomology* 2004; 43: 57-65.
- Pekár S., Michalko R., Loverre P., Líznavá E., Černecká L. Biological control in winter: novel evidence for the importance of generalist predators. *Journal of Applied Ecology* 2015; 52(1): 270-279.
- Persons MH. Hunger effects on foraging responses to perceptual cues in immature and adult wolf spiders (Lycosidae). *Animal Behaviour* 1999; 57: 81-88.
- Persons MH., Rypstra AL. Preference for chemical cues associated with recent prey in the wolf spider *Hogna helluo* (Araneae: Lycosidae). *Ethology* 2000; 106(1): 27-35.
- Picchi MS., Bocci G., Petracci R., Entling MR. Effects of local and landscape factors on spiders and olive fruit flies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2016; 222: 138-147.
- Richert SE., Bishop L. Prey control by an assemblage of generalist predators: Spiders in garden test systems. *Ecology* 1990; 71: 1441-1450.
- Riechert SE., Harp JM. Nutritional ecology of spiders. In: Slansky F., Rodriguez JG. (ed) *Nutritional Ecology of Insects, Mites, and Spiders*. New York: John Wiley 1987; 645-672.
- Riechert SE., Lockley T. Spider as biocontrol agents. *Annual Review of Entomology* 1984; 29: 229-320.
- Sanyal D., Bhowmik P., Anderson R., Shrestha A. Revisiting the perspective and progress of integrated weed management. *Weed Science* 2008; 56(1): 161-167.
- Sarma S., Pujari D., Rahman Z. Role of Spiders in regulating insect pest in the agricultural ecosystem- an overview. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary* 2013; 1(5): 100-117.
- Schmidt JM., Harwood DJ., Rypstra AL. Foraging activity of a dominant epigeal predator: molecular evidence for the effect of prey density on consumption. *Oikos* 2012a; 121(11): 1715-1724.
- Schmidt MH., Lauer A., Purtauf T., Thies C., Schaefer M., Tschardt T. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2003; 270(1527): 1905-1909.
- Schmidt MH., Thewes U., Thies C., Tschardt T. Aphid suppression by natural enemies in mulched cereals. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2004; 113(2): 87-93.
- Sinclair AR., Pech RP., Dickman CR., Hik D., Mahon P., Newsome AE. Predicting effects of predation on conservation of endangered prey. *Conservation Biology* 1998; 12(3): 564-575.

- Snyder WE., Wise DH. Antipredator behaviour of spotted cucumber beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) in response to predators that pose varying risks. *Environmental Entomology* 2000; 29: 35-42.
- Sunderland KD., Fracer AM., Dixon AF. Field and laboratory studies on money spiders (Linyphiidae) as predators of cereal aphids. *Journal of Applied Ecology* 1986; 23: 433-447.
- Şimşek A., Bolu H. Diyarbakır ili Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) alanlarındaki yararlı böcek faunasının belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 2016; 56(3): 267-282.
- Thomson LJ., Hoffman AA. Natural enemy responses and pest control: importance of local vegetation. *Biological Control* 2010; 52(2): 160-166.
- Traugott M., Bell J., Raso L., Sint D., Symondson WO. Generalist predators disrupt parasitoid aphid control by direct and coincidental intraguild predation. *Bulletin of Entomological Research* 2012; 102(2): 239-247.
- World Spider Catalog. <https://wsc.nmbe.ch/>. 2021; (Erişim tarihi: 06/06/2021).
- Young AP., Edwards GB. Spiders in United States field crops and their potential effect on crop pests. *Journal of Arachnology* 1990; 18: 1-27.

Farklı Ekosistemlerde Mikroplastik Kirlilik: Oluşum, Toksikite ve Riskler

Elif ÇELİK^{1*}, Doğanay YÜKSEL², Özlem TURGAY³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0002-8280-8809>

²<https://orcid.org/0000-0002-1926-5573>

³<https://orcid.org/0000-0003-2286-833X>

*Sorumlu yazar: elifcelik@ksu.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.10.2021

Kabul tarihi:09.05.2022

Online Yayınlanma:12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Mikroplastik

Toksikoloji

Kalıcı organik kirletici

Kirlilik

Trofik transfer

ÖZ

Mikroplastikler olarak tanımlanan boyutu 5 mm'den daha küçük olan plastik fragmentleri, çevre üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle küresel düzeyde bir endişe konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikroplastiklerin doğadaki parçalanma özellikleri ve kalıcı organik kirleticileri emme, salma eğilimleri onları meydana getiren polimer türü ile ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte yüksek yüzey/hacim oranı özellikleri nedeniyle mikroplastikler başta sucul alanlar olmak üzere buldukları ortamdaki organik kirleticilerle kolay şekilde etkileşime girebilmektedirler. Mikroplastiklerin toksik etkilerine ilişkin tutarsız bulgular, mikroplastiklerden kaynaklanan riskleri yorumlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle, mikroplastiklerin deniz ve kara ekosistemlerindeki davranışlarını belirlemek için standart örnekleme yöntemlerine ve kolay, güvenilir analitik tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroplastik kirliliği toplum sağlığı bağlamında değerlendirildiğinde insan maruziyetinin yollarını, olası toksik etkileri ve endişeleri belirlemek önemli bir aşamadır. Bu derleme çalışmasında hava, su ve toprak ortamındaki mikroplastik kirliliği değerlendirilmektedir. Ayrıca mikroplastik kirliliği konusunda Türkiye'de yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Microplastic Pollution in Different Ecosystems: Occurrence, Toxicity and Risks

Review Article

Article History:

Received: 11.10.2021

Accepted: 09.05.2022

Published online:12.12.2022

Keywords:

Microplastic

Toxicology

Persistent organic pollutant

Pollution

Trophic transfer

ABSTRACT

Microplastics, plastic fragments under 5 mm in length, are now in the public domain as a growing issue of global concern because of their potential impacts on the environment. Their fragmentation characteristics and tendency to sorb or release persistent organic pollutants (POPs) are determined by the polymer type. The high surface-to-volume ratio of microplastics favors their interaction with organic pollutants present in the surrounding area, particularly in the aqueous area. The inconsistent findings regarding the toxic effects of microplastics point to the need for further studies to interpret risks originating from microplastics. For this reason, standard sampling methodologies and easy, reliable analytical techniques are needed to determine the fate of microplastics in marine and terrestrial ecosystems. Furthermore, in the context of public health, it is crucial to identify the routes of human exposure, the potential toxicological consequences, and concerns. Therefore, this review assesses the microplastic contamination in the air, water and soil environment. Also, studies conducted in Turkey on microplastic pollution are given.

1.Giriş

Plastikler, hafiflik, esneklik, korozyona karşı direnç, renk stabilitesi, dayanıklılık, ısı ve elektrik yalıtımı, şeffaflık, estetik cazibe, işleme kolaylığı, kendi kendine yağlama ve ucuza imal edilebilme gibi bir dizi avantaj sunar. Günümüzde, çeşitli avantajlar sunan plastiklere artan bir ilgi vardır (Yurtsever, 2019a). Küresel plastik üretimi 2020'de yaklaşık 367 milyon ton iken, Avrupa'da bu oran yaklaşık 55 milyon tona ulaşmıştır (Plastics Europe, 2021). Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı'nın yayınladığı rapora göre 2021 yılının ilk 11 ayında Türkiye'de yaklaşık 9,3 milyon ton plastik üretilmiştir (PAGEV, 2021). Yıllık plastik üretiminin büyük bir kısmı tek kullanımlık ambalaj malzemeleri ve bir yıl içinde atılan diğer kısa ömürlü ürünlerdir. Bu nedenle, atık yönetimi ve eksik çevre bilinci, ortamdaki plastik atık miktarını etkileyen önemli faktörlerdendir. Plastik malzemelerin temel özelliklerinden biri dayanıklı olmalarıdır; buna rağmen, zamanla çeşitli etkenlere bağlı olarak bozunurlar. Plastikler çevre ekosisteminde biyolojik, termal, mekanik, termo-oksidatif ve güneş ışığı (UV radyasyon) gibi bir dizi farklı etkenlerle bozunabilmektedir. Bunlar arasında oksijen ve güneş ışığı, doğal ortamlarda abiyotik materyal bozunmasının en önemli faktörleri olarak kabul edilmektedir. (Chubarenko ve ark., 2020). Bu bozunmalara bağlı olarak plastikler parçalanmaktadır.

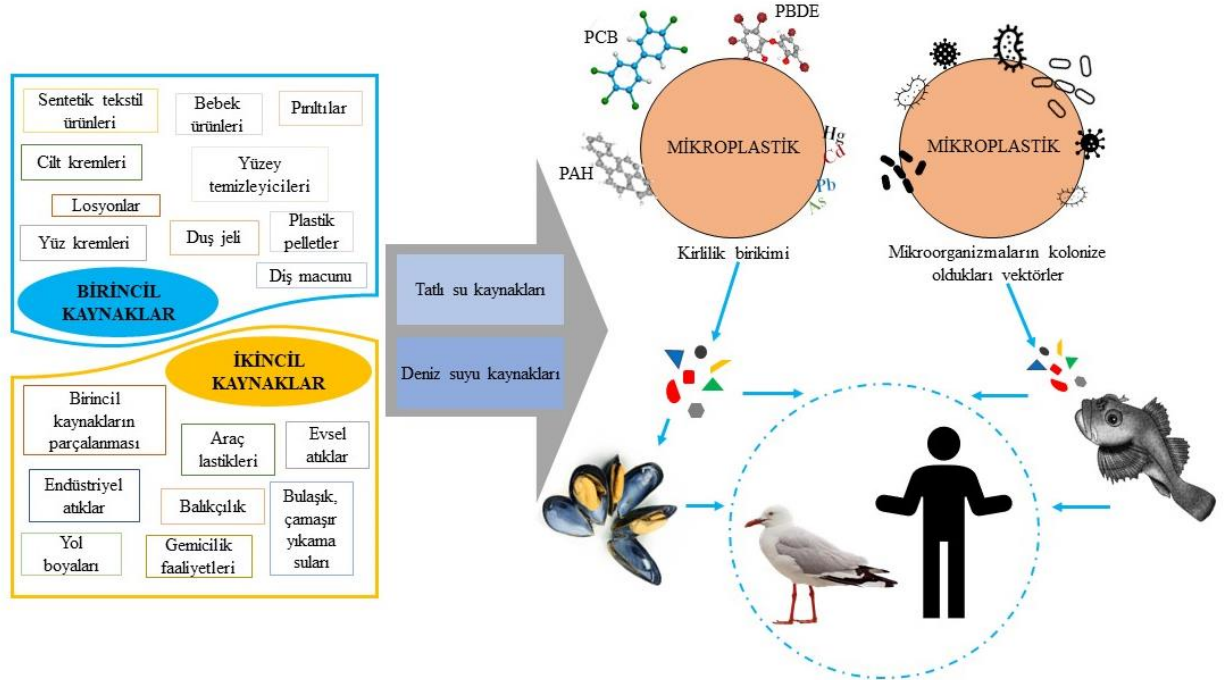
Plastikler farklı alanlarda (tekstil, otomotiv, gıda ve elektronik sektörü vb) kullanımının sağladığı faydalara rağmen önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Mikroplastikler, üretimlerinde kullanılan katkı maddeleri veya buldukları ortamdaki adsorbe ettikleri kalıcı organik kirleticiler nedeniyle kimyasal kirlilik oluşturmakta, bununla beraber farklı organizmalar tarafından yutulan mikroplastikler sindirim kanalında fiziksel zedelenmeye sebep olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı farklı bölgelerde yapılan güncel çalışmaları değerlendirerek mikroplastikler ile ilgili mevcut duruma ilişkin bir derleme oluşturmaktır. Yapılan derleme çalışmasında, konunun hassasiyeti belirtilerek bu konuda farkındalığın oluşması amaçlanmaktadır.

1.1.Mikroplastik oluşumunda etkili faktörler

Mikroplastikler boyutları 5 mm'den küçük olan plastik parçaları olarak tanımlanabilir (Arthur ve ark., 2009). Mikroplastik kirlilik, derin denizler, adalar ve kutuplar gibi, karadan okyanuslara kadar birçok çeşitli biyotoplarda yaygın bir dağılım gösterir (Lusher ve ark., 2015; Wang ve ark., 2018). Mikroplastikler küçük boyutta üretilmiş olan birincil veya plastiklerin ayrışması-bozunması ile boyutları küçülmüş ikincil plastikler olarak gruplandırılmaktadır (Şekil 1). Birincil mikroplastiklerin okyanuslara küresel salınımının yılda 15 milyon ton olduğu (iyimser bir tahmine göre 0,8 milyon ton/yıl; kötümser bir tahmine göre 25 milyon ton/yıl) tahmin edilmektedir (Boucher ve Friot, 2017). Ayrıca aynı çalışmada okyanuslardaki tüm plastiğin %15 ile %31'inin birincil plastiklerden kaynaklandığı bildirilmektedir. Güneş ışığına ve fiziksel aşınmaya bağlı olarak plastiklerin daha küçük

parçalara bölünmesi sonucu ikincil plastiklerin oluştuğu bildirilmektedir (Lambert ve ark., 2014; Alomar ve ark., 2016; Yurtsever 2019a). Her yıl 4,8 ile 12,7 milyon ton arasında makroplastığın okyanuslara karıştığı tahmin edilmektedir (Boucher ve Friot, 2017). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA) verilerine göre sucul alanlardaki ikincil mikroplastik kontaminasyonunun yıllık 68,5-275 bin ton civarında olduğu bildirilmektedir (EFSA, 2016). İkincil mikroplastiklerin oluşumunu inceleyen bir çalışmada, dört malzeme (yüksek yoğunluklu polietilen, yüksek etkili polistiren, naylon 6 ve polipropilen) üzerinde hızlandırılmış iklimlendirme gerçekleştirilmiştir. Deney modelinde yüksek yoğunluklu polietilen ve naylon 6 kaynaklı mikro lifler ortaya çıkarken, yüksek yoğunluklu polistiren ve polipropilende fiziksel parçalanma olmadığı bildirilmiştir (Naik ve ark., 2020).

Biber ve ark., tarafından 2019 yılında yapılan bir çalışmada polietilen, polistren, polietilen teraftalat ve bioten (Biothene) bileşiklerinin 600 günlük maruziyet (gölgede ve güneş ışığı altında ışıkta karada ve deniz suyu ortamında) süresi içerisinde belirli periyotlarla örnekleme yapılarak bozunumları ve mikroplastik oluşturma potansiyelleri değerlendirilmiştir. Güneş ışığı altında kara ortamında bekletilen tüm örnekler diğer durumlara göre daha hızlı parçalanırken bu bileşikler arasında en hızlı bozunmanın polistren olduğu görülmüştür. Buna ek olarak karadaki parçalanmanın deniz suyuna göre daha hızlı olduğu ve doğrudan ışığın parçalanmayı hızlandırdığı bildirilmiştir.



Şekil 1. Birincil ve ikincil mikroplastik kaynaklarının besin zincirine katılması (PAH: polisiklik aromatik hidrokarbon; PCB: poliklorlu bifenil; PBDE: poli bromlu difeniller)

1.2. Mikroplastiklerin saptanması ve ölçümü

Mikroplastiklerin tespit edilmesi ve miktarlarının belirlenmesinin, bu kirleticilerin çevredeki heterojen dağılımları nedeniyle kolay olmadığı ifade edilmektedir. (Cole ve ark., 2011; Akdoğan ve Guven, 2019). Yoğunluğu deniz suyunu aşan plastikler çökerek birikirken (Woodall ve ark., 2014), düşük yoğunluklu plastikler su yüzeyinde (Suaria ve Aliani, 2014) veya su kolonunda asılı halde (Fossi ve ark., 2012) bulunabilirler. Su yüzeyinde kalması beklenen polietilen ve polipropilen gibi parçacıkların çöktürülmesi için tutunabildiği gözlenmiştir (Horton ve ark., 2017).

Mikroplastiklerle ilgili yapılan çalışmalarda yaşanan bir diğer zorluk, çalışmalarda farklı metodolojik yaklaşımların kullanılması olarak gösterilebilir (Rainieri ve Barranco, 2019). Öte yandan farklı sektörlerde çok çeşitli amaçlarla kullanılmalarından ötürü mikroplastiklerin kimyasal yapıları birbirinden farklı olabilir. Bu sebeple çalışmalarda aynı metodolojilerin kullanılması genellikle mümkün olmamaktadır. Bunlara ek olarak literatürde, mikroplastiklerin kaynağını veya taşınımını izlemek için kullanılacak etkili bir yöntem bulunmadığı ifade edilmektedir (Reynaud ve ark.,2022). Genellikle sediment ve karasal alanlarda yapılan ölçümlerde sonuçlar “gram mikroplastik/m²”, “adet mikroplastik/m² (veya cm²)” veya “adet mikroplastik/kg sediment (ıslak veya kuru)” olarak verilirken; sucul alanlarda yapılan örneklemelemlerde “mg mikroplastik/m³”, “adet mikroplastik/m³” veya “adet mikroplastik/L” olarak; havadan yapılan örneklemelemler “adet mikroplastik/m³” olarak ve canlılardan alınan örneklerde ise “adet mikroplastik/organizma” olarak verilmektedir. Birimlerdeki farklılıklar nedeniyle, konu ile ilgili yapılan çalışmalardaki verilerin karşılaştırılması/kıyaslanması zorlaşmaktadır. Bunlara ek olarak yapılan bir çalışmada plastiklerin su sütunu içerisine dikey bir katman olarak dağıldığı, bu nedenle okyanustaki plastik kirliliğinin belirlenmesinde yüzey örneklemesinin yeterli olmayabileceği ifade edilmiştir. Mikroplastik kirliliğini denizlerde doğru bir şekilde ölçmek ve yönetmek için jeofizik bir yaklaşım benimsenmesinin önemi çalışmada üzerinde durulan bir konudur (Kukulka ve ark., 2012). Bununla birlikte, analizi gerçekleştiren laboratuvar personeli kaynaklı kontaminasyon (tokalarda bulunan pırıltılar, sentetik tekstil ürünleri ve kozmetik ürünler gibi birincil mikroplastik vektörleri) nedeniyle hatalı sonuçlar elde edilebilir.

1.3. Gıdalardaki mikroplastik kontaminasyonu

Mikroplastiklerin neden olabileceği kimyasal, fiziksel veya biyolojik toksik etkiler günümüzde tam olarak aydınlatılmamıştır. Bu nedenle gıdaların üretim prosesleri esnasında herhangi bir plastik kontaminasyonuna maruz kalıp kalmadığının veya kontaminasyon söz konusu ise bu bulaşmanın kaynağının belirleneceği çalışmalar son tüketicilerin sağlığı açısından önemli görülmektedir. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada 14 ülkeden temin edilen 159 kaynak suyu, 12 bira örneği ve 12 ticari deniz tuzu örneğinde plastik kontaminasyonu araştırılmıştır. Musluk suyu örneklerinin %81'inde, bira ve tuz markalarının tamamında yabancı parçacık bulunduğu belirtilmiştir (Kosuth ve ark., 2018). Tespit edilen yabancı parçacıkların döküntülerin selülozik olmadığı ve dolayısıyla sentetik/plastik olma

ihtimalinin daha yüksek olduğuna dair destekleyici kanıtların olduğu belirtilmiştir. Dokuz farklı ülkede 11 şişe su markası ile yapılan bir çalışmada incelenen toplam 259 şişenin %93'ünde mikroplastik kontaminasyonu saptanmıştır. Laboratuvar kontaminasyonu hesaba katıldıktan sonra, incelenen şişe sularının litresi başına >100 µm büyüklüğünde ortalama 10,4 mikroplastik parçacık bulunduğu bildirilmektedir. Tespit edilen mikroplastiklerin %54'lük kısmının şişe kapaklarının üretiminde kullanılan yaygın bir plastikte eşleşen polipropilen olduğu görülmüştür. Bu durum kontaminasyonun kısmen ambalajlama ve/veya şişeleme işleminden kaynaklandığını göstermektedir (Mason ve ark., 2018). Tablo 1'de mikroplastik tespit edilen bazı gıdalar, bu gıdalardaki ortalama mikroplastik miktarları ve türleri verilmiştir.

Tablo 1. Mikroplastik kontaminasyonu gözlenen bazı gıdalar

Gıda	Örneklem Bölgesi	Ortalama Miktarı	Boyut Aralığı	Polimer Çeşidi	Referans
Deniz Ürünleri					
Midye (<i>Mytilus edulis</i>)	Fransa, Belçika, Hollanda kıyıları	0,2-0,5 partikül g ⁻¹	0,015-1 mm	-	Van Cauwenberghe ve ark., 2015
Midye (<i>Mytilus edulis</i>)	Çin kıyıları	1,5-7,6 partikül g ⁻¹	0,033-4,7	CPH, PET, PES	Li ve ark., 2016
Midye (<i>Mytilus edulis</i>)	Türkiye (Adana, Ankara, Bodrum, İstanbul ve İzmir'de bulunan satıcılar)	0,6 ± 0,1 adet mikroplastik (n=317, % 62,7 fiber, % 37,3 partikül)	1,6 mm (lif formunda ortalama boyut), 1,8 mm (partikül formunda ortalama boyut)	PP, PE	Gündoğdu ve ark., 2020
Derin deniz balığı	Güney Çin denizi	Karın: 1,56 partikül g ⁻¹ Sindirim kanalı: 4,89 partikül g ⁻¹	<1 mm	CPH, PA, PET	Zhu ve ark., 2019
İnci kefalı	Türkiye, Van Gölü	Sindirim kanalı: 34±13 adet balık ⁻¹	-	PP, PE	Atici ve ark., 2021
Midye (<i>Mytilus galloprovincialis</i> ve <i>Ruditapes decussatus</i>)	Türkiye (İzmirKörfezi: Karşıyaka ve Gülbahçe)	8,72 partikül midye ⁻¹	-	-	Yozukmaz, 2021
Tuz					
Okyanus, deniz ve kaya tuzu	Amerika Birleşik Devletleri	47-806 partikül kg ⁻¹	0,1-5 mm	-	Kosuth ve ark., 2018
Deniz tuzu	İtalya	1600-8200 partikül kg ⁻¹	0,004-2,1 mm	-	Renzi ve ark., 2018
Deniz, göl ve kaya tuzu	Türkiye	140-315 partikül kg ⁻¹	0,3-0,5 (ortalama aralık)	Poliamid polimer türevleri	Yurtsever, 2018
Deniz, göl ve kaya tuzu	Türkiye	8-102 partikül kg ⁻¹	0,02-5 mm (2,3 mm ortalama)	PE, PP	Gündoğdu, 2018
İçecekler					
İçme Suyu	Almanya	11 partikül L ⁻¹ (karton ambalaj), 118 partikül L ⁻¹ (geri dönüşümlü plastik ambalaj)	0,005-0,1 mm	PET, PE, PA, PP	Schymanski ve ark., 2018
İçme Suyu	Çek Cumhuriyeti	338-628 partikül L ⁻¹ (işlenmiş su), 1473-3605 partikül L ⁻¹	0,001-0,1 mm	PBA, PE, PET, PMMA, PP, PS, PTT, PVC (ham su)	Van Cauwenberghe ve ark., 2015

				PAAm, PE, PET, PP, PVC (işlenmiş su)	
Bira	Almanya	2-79 adet L ⁻¹ (fiber), 12-109 adet L ⁻¹ (parçacık), 2-66 adet L ⁻¹ (granül)	-	-	Liebezeit ve Liebezeit E., 2014
Bira	Amerika Birleşik Devletleri	0-14,3 partikül L ⁻¹	0,1-5 mm	-	Kosuth ve ark., 2018
Bal, Şeker					
Bal	Almanya	10-336 adet kg ⁻¹ (fiber), 2-82 adet kg ⁻¹ (parçacık)	0,01-birkaç milimetre	-	Liebezeit ve Liebezeit E., 2015
Bal	İsviçre	32-108 adet kg ⁻¹ (fiber), 8-28 adet kg ⁻¹ (diğer)	-	PET	Mühlschlegel ve ark., 2015
Şeker	Almanya, Fransa, İtalya ve İspanya	217 adet kg ⁻¹ (fiber), 32 adet kg ⁻¹ (fragment)	-	-	Liebezeit ve Liebezeit E., 2013

CPH: cellophane; PET: polietilenterefalat; PES: poliester; PP: polipropilen; PE: polietilen; PA: poliamid; PBA: polibütillakrilat; PMMA: polimetilmetakrilat; PS: polistiren; PTT: politrimetilenterefalat; PVC: polivinil klorür; PAAm: poliakrilamid

1.4. Mikroplastiklerin organizmalar üzerindeki etkileri

Mikroplastiklerin organizmalar üzerindeki etkileri partikül boyutu, kimyasal bileşimi ve absorbe edebileceği kirlilikten kaynaklanabilir. Genellikle 150 µm boyutundan daha büyük olan partiküller absorplanamaz ve bulunduğu bölgede inflammatuar etki gösterebilir. Fakat bu boyuttan daha küçük partiküller sistemik maruziyete neden olabilir. Örneğin; nanoplastiklerin organlara penetre olabileceği (EFSA, 2016) ve boyutları küçüldükçe biyolojik sistemlerle daha fazla etkileşime girebilecekleri ileri sürülmektedir (Reynaud ve ark., 2022). Herhangi bir alt sınır belirtmeksizin 1µm'den küçük mikroplastik partikülleri nanoplastik olarak isimlendirilmektedir (Koelmans ve ark., 2019). Ayrıca nanoplastikler bazı özellikleri bakımından (taşınma, koloidal sistemlerle etkileşim, biyoyarlanım, plastik katkı maddelerinin salınması gibi) mikroplastiklerden farklılık gösteren parçacıklardır (Gigault ve ark., 2021). Mikroplastikler havada asılı kalabildikleri için solunum yolu ile transferleri mümkündür. Buna bağlı olarak organizmanın solunum sisteminde lezyona neden olabildikleri bildirilmiştir (Prata 2018).

Mikroplastikler ile ilgili yapılan çalışmalar ışığında mikroplastiklerin besin zincirine dahil olabileceği öngörülmektedir. Fakat bununla ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Farrell ve Nelson, 2013; Gutow ve ark., 2016). Mikroplastlerin bir trofik seviyeden diğerine sürekli bir şekilde transfer olması durumunda mikroplastiklerin biyolojik dokularda birikeceği bildirilmektedir. Özellikle midye gibi bütün olarak tüketilen deniz canlılarının, mikroplastiklerin insanlara taşınımı açısından bir vektör olabileceği bildirilmektedir (Gedik ve Eryasar, 2020). Yapılan bir çalışmada midyelerin yapısında bulunan işaretli mikroplastiklerin yengeçlere trofik transferi gözlenmiştir. Buna göre ilk 24 saatte yengeç dokularında ve hemolenf sıvısında mikroplastik miktarının arttığı görülmüştür. 24 saat sonunda yengeç hemolenfinde, midye tarafından tutulduğu tahmin edilen mikroküreciklerin %0,28'si tespit edilmiştir (Farrell ve Nelson, 2013). Yengeçlerle yapılan başka bir çalışmada ise yengeçlerin mikroplastığı besin yoluyla veya solungaçları ile alımı incelenmiştir. Diyet yoluyla mikroplastığı

maruz bırakılan yengeçlerin 14 gün sonunda sindirim kanalında mikroplastığe rastlanmamıştır. Öte yandan solungaçları vasıtasıyla mikroplastiklere maruz bırakılan yengeçlerde 21. güne kadar mikroplastiklere rastlanmıştır (Watts ve ark., 2014). Bunların yanı sıra farklı canlılarda mikroplastiklerin trofik transferinin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Nelms ve ark. tarafından yapılan çalışmada Kelt Denizi'nde yakalanan Atlantik uskumrularından (*Scomber scombrus*) boz foklara (*Halichoerus grypus*) mikroplastik transferi gözlemlenmiştir (Nelms ve ark., 2018). Batel ve ark. tarafından yapılan çalışmada da 1 µm ile 20 µm arasındaki kadar mikroplastik parçacıklarının artemya larvalarından (*Artemia nauplii*) zebra balığına (*Danio rerio*) aktarıldığı bildirilmiştir (Batel ve ark., 2016). Gutow ve ark. tarafından yapılan çalışmada deniz yosunundan (*Fucus vesiculosus*) deniz salyangozuna (*Littorina littorea*) mikroplastik transferi gözlemlenmiştir. Buna göre deniz yosunlarının mikroplastiklerin trofik transferi için önemli bir basamak olabileceği ifade edilmektedir (Gutow ve ark., 2016). Başka bir çalışmada avdan avcılara mikroplastik geçişinin (midyeden (*Perna perna*), yengeç (*Callinectes ornatus*) ve kirpi balığına (*Spheeroides greeleyi*), ancak 10 günlük maruziyetten sonra gözlemlendiği ve dokularda mikroplastik birikimi ile ilgili kanıt tespit edilemediği belirtilmektedir (Santana ve ark., 2017). Benzer şekilde Grigorakis ve ark. tarafından yapılan çalışmada mikrofilm ve mikroboncuk yapısındaki mikroplastiklerle beslenen Japon balığının (*Carassius auratus*) mikroplastığın %50'lik kısmını beslenmeden sonraki ilk 10 saatte; %90'lık kısmını ise yaklaşık 34 saatte elimine ettiği belirtilmektedir. Bu veriler ışığında, mikroplastiklerin avdaki konsantrasyonunun ve yırtıcıların eliminasyon kapasitesinin mikroplastiklerin trofik transferi açısından önemli olduğu söylenebilir (Grigorakis ve ark., 2017).

Mevcut bilgilere dayanarak, mikroplastiklerin doğal ortamda önemli bir risk oluşturup oluşturmadığına dair kesin bir kanıt olmadığı düşünülmektedir. Farklı polimer türlerinin ve bunlardan kaynaklanabilecek toksisite seviyesinin doğal ortamlardaki çevresel koşullara bağlı olarak ne kadar değiştiği tam olarak bilinmemektedir. (Akdogan ve Guven, 2019). Öte yandan doğada bulunma miktarlarına kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda mikroplastik içeren deney modellerinin kullanıldığı çalışmalar bazı araştırmacılar tarafından gerçekçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmemektedir. Fakat mikroplastikler kalıcı kirleticilerdir ve konsantrasyonlarının önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir (Duis ve Coors, 2016). Bununla beraber, mikroplastiklerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu bazı bölgeler zaten mevcuttur. Bunlardan birisi Güney Pasifik Çöp Alanı olarak ifade edilen bölgedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmada 1.6 milyon km²'lik bu alanda yaklaşık 79 bin ton ağırlığında toplam 1.8 trilyon plastik parçacığın bulunduğu tahmin edildiği bildirilmektedir (Lebreton ve ark., 2018). Benzer şekilde okyanus girdapları sonucu Kuzey Pasifik Okyanusu'nun doğu kısmında da plastik kirliliğinin yoğun olduğu Kuzey Pasifik Çöp Alanı bulunduğu bildirilmektedir (Egger ve ark., 2020).

2. Mikroplastik Kirliliğinin Oluşturduğu Riskler

Mikroplastiklerin üç olası toksik etkisi vardır. Bunlardan birincisi plastik parçacıkların kendilerinden kaynaklanan, ikincisi plastiklerin üretiminde kullanılan katkı maddelerinden kaynaklanan ve üçüncüsü plastikler tarafından bulunduğu çevreden adsorbe edilebilen kalıcı organik kirleticiler gibi kimyasal maddelerden kaynaklanan toksik etkiler olarak sıralanabilir. Mikroplastikler plankton boyutunda olduğu için deniz canlıları tarafından yutulabilmektedir (Farrell ve Nelson, 2013; Naik ve ark., 2020). Mikroplastiklerin fiziksel olarak, sucul canlıların sindirim sistemine dahil olabileceği ve sindirim sisteminin tıkanmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Bu durumun sucul canlılarında beslenme ve enerji asimilasyonunu azaltabileceği (Browne ve ark., 2015) ve buna bağlı olarak canlının gelişmesinde ve doğurganlığında azalma gözlemlenebileceği öngörülmektedir. Mavi midye (*M. edulis*) ile yapılan mikroplastik maruziyeti modellemelerinde polistiren mikrokürelerin (3 ve 10 µm) midyelerin bağırsağında biriktiği ve dolaşım sistemine dahil olduğu belirlenmiştir. (Browne ve ark., 2008). Mavi midyelerle yapılan başka bir çalışmada parçacık boyutunun küçülmesine bağlı olarak mikroplastiklerin dolaşım sistemine taşınabildiği tespit edilmiştir (Van Cauwenberghe ve Janssen, 2014).

Mikroplastiklerin neden olabileceği toksik etkilerin plastiğin türüne, kimyasal bileşimine, afinitesine bağlı olduğu; bu sebeple mikroplastiklerin miktarı kadar kimyasal yapılarının da değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Küresel olarak üretilen plastiğin yaklaşık %90'ı altı kategoriden birine girmektedir: yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren ve polietilen tereftalat (Kosuth ve ark., 2018). Yapılan çalışmalarda tespit edilen mikroplastiklerin ağırlıklı olarak polietilen, polipropilen ve polistiren esaslı maddelerden oluştuğu belirtilmektedir (Bouwmeester ve ark., 2015). Plastiklerin üretiminde esas polimerin yanı sıra çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Plastiklerin ağırlığının yaklaşık %4'ünü kimyasal katkı maddelerinin oluşturduğu belirtilmektedir (Andrady ve Neal, 2009). Bu katkı maddelerinin plastiklerin yaşam döngüsü içinde bulunduğu çevreye salınabileceği belirtilmiş (Sajiki ve Yonekubo, 2003); dolayısıyla bu kimyasalların canlılar üzerinde toksik etkiler gösterebileceği öne sürülmüştür (Lithner ve ark., 2009). Bu katkı maddeleri plastikleştiriciler (ftalatlar), inert dolgu maddeleri, bromlu alev geciktiriciler (BFR), bisfenol analogları, sürfektanlar, oksidasyonu önleyici maddeler, UV radyasyonuna ve yüksek sıcaklıklara karşı direnç sağlayan maddeler, pigmentler, yağlayıcılar, antistatikler, nanopartiküller veya nanofiberler, biyositler ve kokular olarak sıralanabilir (Andrady ve Neal, 2009; Lambert ve ark., 2014). Avrupa Kimyasal Ajansı (European Chemicals Agency, ECHA) verilerine göre, toplam 1550 potansiyel plastik katkı maddesi olduğu ve endüstri tarafından onaylanmış veya tescil ettirilen 418 katkı maddesi olduğu bildirilmektedir (ECHA, 2019). Plastiklere katılan monomerler ve katkı maddelerindeki risklerden biri de eksik polimerizasyon nedeniyle bu maddelerin matristen göç etmesi olarak değerlendirilebilir. Buna örnek olarak yutulmuş veya solunarak vücuda alınmış parçacıkların yapısından kimyasal madde salınımı olabileceği bildirilmiştir (Cole ve ark., 2011). Migrasyona uğrayan maddelerin ftalatlar ve bisfenol A (BPA) olması

durumunda, endojen hormonlara müdahale ederek endokrin bozucu olarak işlev görebildikleri (Cole ve ark., 2011) ve bazı solunum yolu hastalıklarının patogeneğinde rol oynayabildikleri bildirilmiştir (Ventrice ve ark., 2013; Xie ve ark., 2016). Özellikle küçük çocuk ve bebek gıdaları ile temas eden plastik malzemelerde migrasyon limitinin 60 mg/kg olması yönünde açık bir ifade Türk Gıda Kodeksi'nde (2019) bulunmaktadır. Hamilelik dönemi ve çocukluk çağında BPA maruziyetinin çocukluk çağı astımı ve hırıltılı solunum ile ilişkili olduğu bilinmektedir. (Xie ve ark., 2016). Polikarbonat tüplerden deniz suyuna BPA sızıntısının incelendiği bir çalışmada BPA migrasyonu hızının sıcaklığa ve süreye bağlı olduğu, 20°C gibi düşük sıcaklıklarda bile plastik döküntüden deniz suyuna sızan BPA miktarının önemli seviyelerde olduğu bildirilmiştir (Sajiki ve Yonekubo, 2003). Ayrıca Granby ve ark., tarafından yapılan bir çalışmaya göre mikroplastiklere emdirilen halojenli kontaminantların Avrupa levreklerinde poliklorlu bifenillerin ve bromlu alev geciktiricilerin birikmesini önemli ölçüde yükselttiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada gen ekspresyon sonuçlarına göre mikroplastiklerin bazı kimyasal kirleticilerin olumsuz etkilerini artırabildiği, biyoyararlanımını etkilediği, karaciğerde detoksifikasyonu engellediği veya indüklediği, lipid dağılımını etkilediği tespit edilmiştir (Granby ve ark., 2018).

Mikroplastiklerin üçüncü toksik etkisi plastiklerce absorbe edilen kalıcı organik kirleticilerden (POP) kaynaklanabilir. Bu POP'lar genellikle hidrofobik maddelerdir ve mikroplastiklere olan ilgileri sudan daha yüksektir. Mikroplastiklerin yüksek miktarda POP'u hem yüzeyine hem de iç kısımlarına absorbe edebildikleri bildirilmektedir (Wang ve ark., 2021). Aynı çalışmada mikroplastiklerin poliklorlu dibenzo-p-dioksinler, poliklorlu dibenzo-furanlar, polibromlu difenil eterler, polibromlu dibenzo-p-dioksinler, polibromlu dibenzofuranlar, poliklorlu bifeniller ve polibromlu bifeniller grubuna ait POP'ları absorbe ettikleri bildirilmektedir. Bazı kimyasal kontaminantların mikroplastikler tarafından absorplanarak konsantrasyonlara hale gelebilecekleri çeşitli çalışmalarda tespit edilmiştir (Mato ve ark., 2001; Lee ve ark., 2014; Velzeboer ve ark., 2014). Pelet izleme programı adı altında dünyanın farklı bölgelerinden toplanan plastik peletler ile gerçekleştirilen poliklorlanmış bifenillerin (PCB'ler), polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH'lar), dikloro-difenil-trikloroetan ve metabolitlerinin (DDT'ler), polikromlu difenil eterlerin (PBDE'ler), alkilfenoller ve bisfenol A'nın, konsantrasyonlarını 1 ile 10.000 ng/g arasında değiştiği tespit edilmiştir (Hirai ve ark., 2011). Bu oranlar hidrofobik organik kirleticilerin suda bulunma konsantrasyonlarına göre 10^6 kat zenginleştiği şeklinde yorumlanmaktadır (Lohmann, 2017). Mikroplastiklerin iyi adsorbe ettiği bilinen kontaminantlar arasında PCB'ler, PAH'lar, organoklorin pestisitler (örn. DDT, HCH) ve diğer kalıcı organik kirleticiler bulunur (Mato ve ark., 2001). Öte yandan Arthur ve ark., tarafından yayınlanan bir raporda bahsedilen bir raporda bahsedilen kimyasalların açık okyanustaki mevcut seviyeleri göz önüne alındığında, mikroplastiklerin PCB, dioksinler ve DDT gibi POP'ların için önemli bir küresel jeokimyasal rezervuar olmayabileceği belirtilmiştir (Arthur ve ark., 2009). Hirai ve ark., tarafından yapılan çalışmada açık okyanusa göre kentsel plajlardaki plastik parçalarında daha yüksek konsantrasyonlarda POP gözlemlendiği; bu nedenle, bu hidrofobik kirleticilerle ilişkili risklerin,

kentsel plajlarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Hirai ve ark., 2011). Diğer taraftan hidrofilik organik kirleticilerin mikroplastiklere ve mikroplastiklerden ortama difüzyonunun oldukça yavaş olduğu; bu nedenle, bu kirleticilerin mikroplastiklerden okyanuslara (veya okyanustan mikroplastiklere) geçişinin oldukça sınırlandığı (Bakir ve ark., 2016) ve herhangi bir yer ve zamanda mevcut POP'lara göre daha az katkı sağlayacağı ifade edilmiştir (Lohmann, 2017). Mikroplastiklerde biriken ve bazı organizmalar tarafından alınan POP'ların deniz canlıları üzerindeki etkisinin net olmadığı, bu konularda bilgi eksikliği olduğu düşünülmektedir. Rainieri ve ark., tarafından yapılan bir çalışmada mikroplastiklerin tek başına test edildiği deney koşullarında zebra balığı üzerindeki etkisi ile PCB, BFR, PFC ve metil civa emdirilmiş mikroplastiklerin doku ve organlardaki etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Mikroplastiklerin ve onlara emdirilmiş kirleticilerin organların homeostazı üzerindeki birleşik etkisinin, kirleticilerin tek aşına gösterdiği etkilerden daha önemli olduğu saptanmıştır. Kirletici emdirilmiş mikroplastiklerle desteklenen yemlerin zebra balıklarının beslenmesindeki en belirgin etkisinin karaciğer üzerinde ortaya çıktığı bildirilmiştir (Rainieri ve ark., 2018). Mikroplastikler POP'ların yanı sıra ağır metalleri de absorbe edebilirler. Nitekim yapılan bir çalışmada in vitro koşullarda mikroplastiklerin ağır metallerin taşınımı için aracılık edebildiği bildirilmiştir. Ayrıca ağır metallerin mikroplastik yüzeyinde tutunmasının pH, temas süresi ve konsantrasyon gibi değişkenlere bağlı olduğu ve mikroplastiklerin yüzeyindeki pürüzlü yapının ağır metallerin tutunmasını kolaylaştırıcı etki gösterdiği belirtilmiştir (Kadızoğlu, 2019). Başka bir çalışmada tatlı sudaki plastiklerin, eser metalleri adsorbe etme eğiliminin yüksek olduğu bildirilmiştir. İçme suyu rezervleri için kaynak teşkil eden tatlı sularda ortaya çıkabilecek buna benzer bir kontaminasyonun gıda zincirine aktarılması potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. (Turner ve Holmes, 2015).

Yukarıda sıralanan mikroplastik kaynaklı üç ana toksik etkiye ek olarak mikroplastikler mikroorganizmaları yüzeylerinde taşıyabilir. Mikroplastiklerin, bu mikroorganizmalar için vektör görevi görerek onları uzak mesafeler boyunca taşıyabileceği bildirilmektedir. Mikroorganizma içeren mikroplastikler yutulduğunda mikroorganizmaların bağırsaklarda açığa çıkabileceği ifade edilmektedir (Oberbeckmann ve ark., 2015). McCormick ve ark., (2014) tarafından atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada arıtılmış suda bulunan mikroplastik miktarı ve mikroplastiklere tutunan mikroorganizmalar araştırılmıştır. Buna göre plastik numunelerde *Pseudomonadaceae* ve *Campylobacteraceae* familyasına ait mikroorganizmaların fazla miktarda bulunduğu bildirilmiştir. *Campylobacteraceae* familyasına ait mikroorganizmaların insan dışkı ve gastrointestinal bozukluklarla ilişkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Magana-Arachchi ve Wanigatunge, 2020; Shen ve ark., 2020). *Campylobacter*, dünya çapında bakteriyel gastroenteritin önde gelen nedeni olarak kabul edilmektedir (Backert ve ark., 2017) ve Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, *Campylobacter* enfeksiyonlarından her yıl tahmini olarak 2,2 milyon kişi hayatını kaybetmektedir (WHO, 2014). Mikroplastikler, atmosferdeki mikroorganizmaları taşıyan ve koruyan bir kalkan görevi de görebilir. Mikroorganizmaların; mikroplastiklerin yüzeyine tutunarak, doğrudan insan akciğerine ulaşabileceği,

savunma mekanizmalarını atlatarak, zayıf bölgelerde enfeksiyona neden olabileceği belirtilmektedir (Prata, 2018).

2.1. İnsan maruziyeti

Çeşitli boyut ve şekildeki plastik fragmentlerin sucul alanlarda besin zincirine dahil olması, üretim süreçlerinde gıdaların yapısına karışması veya hava ortamından solunması yoluyla insan vücuduna alınabileceği düşünülmektedir. Plastik fragmentlerin insan vücuduna transferlerinin mümkün olup olmadığının anlaşılması amacıyla yürütülen çalışmaların sayısı son yıllarda artmaktadır. Sağlıklı 22 gönüllü bireyin kan örneklerinde poli metil metakrilat, polipropilen, polistren, poli etilen ve polietilen tereftalat yapıdaki 700 nm'den büyük mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Gönüllü bireylerin %77'sinin (22 kişiden 17'si) kanlarında mikroplastik tespit edildiği bildirilmektedir. Kandaki plastik parçacıkların toplam konsantrasyonunun ortalama 1,6 µg/ml olduğu saptanmıştır. Mikroplastik türü olarak incelediğinde en yaygın olarak karşılaşılan mikroplastik çeşidinin PET (%50) olduğu ve onu sırasıyla PS (%36), PE (%23) ve PMMA (%5)' nin izlediği ifade edilmiştir. Ayrıca analiz edilen kan örneklerinin hiçbirinde polipropilen tespit edilemediği bildirilmektedir. Bu çalışma ile insanların plastik partiküllere maruz kalmasının, partiküllerin kan dolaşımına geçmesiyle sonuçlanabileceği hipotezini güçlendirmiştir (Leslie ve ark., 2022).

Ragusa ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada altı insan plasentası, mikroplastiklerin varlığını değerlendirmek için analiz edilmiştir. Toplamda, 4 plasentada (5 cenin tarafında, 4 anne tarafında ve 3 koryoamniyotik membranda) küresel veya düzensiz şekilli 12 mikroplastik tespit edildiği bildirilmektedir. İki tanesi hariç, bulunan diğer mikroplastikler yaklaşık 10 µm boyutunda olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada kan dolaşımı ile bu boyutlara sahip maddelerin olası bir taşınımının olabileceği vurgulanmıştır (Ragusa ve ark., 2021).

Solunum sistemi veya gastrointestinal sistem epitelleri ile etkileşime giren mikroplastiklerin difüzyon veya hücrel penetrasyon yoluyla dolaşım sistemine ve diğer organlara taşınma ihtimali olduğu değerlendirilmektedir (Prata, 2018). Bununla birlikte, immünolojik tepkinin malzemenin boyut ve şekil gibi çeşitli fiziksel özellikleri ve endojen katkı maddelerinin varlığı, monomerlerin migrasyonu gibi kimyasal faktörlerle ilişkili olduğu görülmektedir (Wright ve Kelly, 2017). Alınan nefesle vücuda giren mikroplastiklerin büyük çoğunluğunun akciğerlerin mukosilyer klirens mekanizmaları sonucu tutularak vücuttan uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (Gasperi ve ark., 2018). Fakat bazı mikroplastik parçalarının bu mekanizmayla tutulmadığı belirlenmiştir. Mikroplastik maruziyeti sonucu insanlarda meydana gelebilecek olumsuz etkilerin anlaşılabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

2.2. Hayvan deneyleri ve mikroplastiklerin toksisitesi

Mikroplastiklerin farklı canlılarda yol açabileceği potansiyel olumsuz etkiler bazı *in vitro* çalışmaların konusu olmuştur. Yapılan bir çalışmada, sıçanlar, 90 gün boyunca 3 farklı dozda 0,5 µm polistiren mikroplastiklere maruz bırakılmışlardır. Doksan gün sonunda hayvanların kan ve yumurtalık örnekleri

incelendiğinde mikroplastiklerin bu dokularda fibrozise yol açtığı ve sıçanlarda oksidatif stres yoluyla yumurtalık hücrelerinin apoptozisine (programlı hücre ölümü) neden olduğu tespit edilmiştir. (An ve ark., 2021). Kopepod *Calanus helgolandicus* ile yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre; mikroplastik maruziyetine bağlı olarak, canlının enerji metabolizması ve motor aktiviteleri üzerinde kademeli bir azalma görüldüğü bildirilmektedir. (Isinibilir ve ark., 2020).

Küresel ve düzensiz şekle sahip mikroplastik parçalarının *Cyprinodon variegatus* 'da organ dağılımı, yüzmeye davranışları, gen ekspresyonu ve enzim aktivitelerindeki üzerindeki etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada her iki tip mikroplastığın de sindirim sisteminde birikerek bağırsak rahatsızlığına neden olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda her iki mikroplastik çeşidi hücrel reaktif oksijen türleri (ROS) oluşmasına neden olmuştur (Choi ve ark., 2018).

İnsan kolon adenokarsinom Caco-2 hücrelerinde yapılan bir çalışmada 0,1 mm ve 5 mm boyutundaki polistiren mikroplastiklerin; hücre canlılığı, hücre içi reaktif oksijen türü seviyeleri, membran bütünlüğü ve akışkanlığı üzerindeki etkileri göz önüne alındığında düşük toksisiteye yol açtıkları bildirilmektedir. Ancak 5 mm boyutundaki polistiren mikroplastiklerin yüksek mitokondriyal depolarizasyona neden olduğu ve her iki boyuttaki polistiren mikroplastiklerin membran ATP bağlayıcı kaset taşıyıcı aktivitesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Wu ve ark., 2019).

Mikroplastiklerin toksik etkisi yapılarında bulunan ftalatlardan da kaynaklanabilir. Ftalatların toksik etkisi öncelikle üreme ve solunum sistemleri üzerinde ortaya çıkarken, aynı zamanda karsinogenez (bir hücrenin kanserleşmesi için geçmesi gereken gereken aşamaların tümü) süreçlerinde ve hatta otizm spektrum bozukluklarında rol oynayabildiği bildirilmektedir (Ventrice ve ark., 2013). Plastik ürünlerde yaygın olarak kullanılan PBDE'ler, ftalatlar ve bisfenol A gibi katkı maddelerinin endojen hormonların sentezini taklit edebildikleri, rekabet edebildikleri veya bozabildikleri bildirilmektedir. Bu sebeple bu katkı maddeleri endokrin bozucu kimyasallar olarak bilinmektedir (Cole ve ark., 2011).

Polivinil kloridinin mikroalgler üzerindeki (*Skeletonema costatum*) toksisitesinin araştırıldığı çalışmada mikroplastik parçacıklarının mikroalglerin gelişmesi üzerinde önemli inhibisyon etkisi olduğu, yüksek konsantrasyonlu denemelerde mikroalglerin hem klorofil içeriğinin hem de fotosentetik verimliliğinin azaldığı bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2017). Zebra balıklarında (*Danio rerio*) 7 günlük polistiren mikroplastik maruziyetinin neden olduğu toksik etkilerin incelendiği bir çalışmada, 5 µm çaplı mikroplastiklerin balık solungaçlarında, karaciğerde ve bağırsakta; 20 µm çaplı olanların ise balık solungaçlarında ve bağırsakta biriktiği bildirilmektedir. Histopatolojik analiz sonuçlarına göre her iki boyuttaki parçacığın da balık karaciğerinde inflamasyona ve lipid birikimine neden olduğu ve oksidatif stresin indüklediği görülmüştür (Lu ve ark., 2016).

3.Mikroplastik Kontaminasyonu

3.1. Karasal alanlar

Mikroplastik araştırmalarının çoğunluğu sucul alanlara odaklanmıştır. Her ne kadar tatlı su ve karasal ortamlar, plastiklerin kökenleri ve nakil yolları olarak görülsede bu bölgeler hakkında hala

karşılaştırmalı bilgi eksikliği olduğu düşünülmektedir. Toprağa salınan plastik miktarı, okyanuslara salınımın 4-23 katı olarak tahmin edilmektedir (Horton ve ark., 2017). Genel olarak düşük yoğunluklu polietilenden oluşan ambalaj malzemeleri karasal alanlardaki plastik atıkların büyük kısmını oluşturmaktadır (Barnes ve ark., 2009). Çeşitli ülkelerde üretilen ve dünyadaki eğlence etkinliklerinde, şovlarda ve karnavallarda yaygın olarak kullanılan pırıltıların önemli bir mikroplastik kaynağı olduğu ifade edilmiştir (Yurtsever 2019b). Pırıltıların birçoğu metalize (alüminyum, titanyum, demir veya bizmut) polietilen tereftalattan imal edilmektedir (Yurtsever, 2019a). Ticari pırıltıların boyutları 50 ile 6350 µm arasında değişmektedir ancak en çok tercih edilen boyut 200 µm olarak bildirilmektedir (Blackledge ve Jones, 2007). Bu sebeple, PET pırıltılar çevrede birincil mikroplastik kirliliğinin önemli bir kaynağı olabilir. Bu pırıltılar sadece karasal alanlarda kalmayıp çeşitli şekillerde sucul alanlara da taşınabilir.

3.2.Sucul alanlar

Sucul alanlardaki mikroplastiklerinin çoğunluğu karasal kaynaklardan taşındığı düşünülmektedir (Zhang ve ark., 2017). Sentetik tekstil ürünlerinin ve sentetik kauçuk lastiklerin erozyonunun birincil mikroplastiklerin en önemli kaynaklarından biri olduğu görülmektedir. Okyanuslardaki mikroplastik kirliliğinin %7'sinin bu kirleticilerin rüzgar ile taşınımı sonucu oluştuğu tahmin edilmektedir (Boucher ve Friot, 2017). Sucul alanlarda mikroplastik varlığını inceleyen çalışmalar çoğunlukla mikroplastığe maruz kalan canlıların sindirim sistemine odaklanmaktadır. Bunun sebebi ortamdaki mikroplastiklerin sucul canlılarca yutulması ve besin piramidine dahil olmalarıdır. Yutulan mikroplastiklerin gelişmeyi olumsuz etkilediği, karaciğerde biriktiği ve iltihaplanmaya neden olduğu ve adsorbe kimyasal kirleticilerin birikimi için bir vektör olarak işlev gördüğü gösterilmiştir (Lu ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2017). Bununla birlikte, besin piramidinin daha üst basamaklarında bulunana deniz memelileri gibi canlılarla ilgili daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Akdogan ve Guven, 2019).

Sucul alanlarda bulunan mikroplastiklerin dağılımı, türü, miktarı ve kaynağı hakkında yeterli veri bulunmamaktadır (Genc ve ark., 2020). Yapılan bir çalışmada her bir yıkama işlemi sırasında yaklaşık 1900 adet elyaf parçacığının yıkama suyuna karışabildiği bildirilmiştir. (Browne ve ark., 2011). Buna göre evsel atıkların sucul ve karasal alanlar için önemli bir plastik kontaminasyonu kaynağı olabileceği görülmektedir.

Dünyanın 19. en büyük gölü olan Hövsgöl Gölünde yapılan bir çalışmada mikroplastik yoğunluğu ortalama 20,435 parçacık/km² olarak tespit edilmiştir (Free ve ark., 2014). Araştırmacılar, bölgedeki nispeten sınırlı sanayi faaliyetlerine ve düşük nüfus yoğunluğuna rağmen bu dağ gölünde yüksek oranda mikroplastik bulunmasına dikkat çekerek, atık su yönetiminin bulunmadığı bölgelerdeki tatlı suların yoğun bir şekilde kirlenebileceğine vurgu yapmışlardır. Benzer bir çalışma Erzurum'da 2380 m yükseklikte bulunan bir krater gölünde yapılmıştır (710123'E 440048'N). En yakın yerleşim yerine 3 km uzaklıkta bulunan gölün 5 farklı bölgesinden alınan örneklerde Mikroplastik varlığı tespit edilmiştir (Comaklı ve ark., 2020). Kuzey kutup sularında mikroplastik varlığının araştırıldığı bir

çalışmada ise yüzey örneklerinde yaklaşık $0,34$ parçacık/ m^3 ve yüzey altı örneklerinde ise yaklaşık $2,68$ parçacık/ m^3 tespit edilmiştir (Lusher ve ark., 2015). Kuzey Kutbu'nda tespit edilen mikroplastik kirliliği, buz tabakalarının erimesine bağlı olarak artan denizcilik ve balıkçılık faaliyetleri, okyanus taşımacılığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu örnekler ışığında mikroplastik kirliliğinin kısmen insan faaliyetlerinden korunmuş bölgelerde tespit edilmesi plastik atıkların daha iyi yönetilmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

3.3. Hava ortamı

Mikroplastik kaynakları arasında kentsel girdiler giderek daha fazla incelenirken, atmosferdeki mikroplastik varlığı çoğunlukla ihmal edilmektedir. Ancak mikroplastiklerin düşük yoğunlukları nedeniyle kolayca havada asılı kalabildikleri bildirilmiştir (Abbasi ve ark., 2019). Atmosferdeki mikroplastik miktarı ve bunların taşınımı rüzgar, rüzgar hızı ve yönü, partikül büyüklüğüne bağlı çökme, dikey kirlilik gradyanı gibi koşullardan etkilenebilir (Prata, 2018). Düşük yoğunluklu polimerler (örneğin polietilen) ve daha küçük parçacıkların havada bulunma potansiyelleri daha yüksektir; böylece karasal ve sucul ortamları daha fazla kirletebildikleri belirtilmektedir (Horton ve ark., 2017; Prata 2018). Bu nedenle, insanların atmosferik mikroplastiklere maruziyeti mikroplastığın kaynağına ve meteorolojik - coğrafik faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir.

Bireylerin hava ortamından kaynaklı mikroplastik maruziyetinin mesleki ortamlarda daha yüksek olabileceği öngörülebilir. Yüksek hacimli polimerik malzemelerle çalışan fabrikalardaki yetersiz koşullar, havadaki mikroplastiklerin yüksek konsantrasyonuna kronik maruz kalmayla sonuçlanabilir. Türkiye'de bir tekstil fabrikasında yapılan çalışmaya göre yerde ortalama 183 adet/ cm^2 mikroplastik life rastlanırken; yerden $1,8$ m yüksekten alınan numunelerde ortalama 100 adet/ cm^2 mikroplastik life rastlandığı bildirilmiştir. Fabrikanın 10 m uzağında yapılan örneklemede ise tekstil fabrikasında kullanılan lif dokusuyla eşleşen mikroplastiklerin tespit edildiği ifade edilmiştir. (Başaran, 2019). Başka bir çalışmada sentetik tekstil iplik fabrikasında toza maruz kalan işçilerin akciğer kanserine bağlı olarak daha yüksek ölüm oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir (Hours ve ark., 2007).

Paris'te açık ve kapalı alanlarda gerçekleştirilen bir çalışmada boyutu 50 μm üzerinde olan çok sayıda solunabilir mikroplastik lifleri tespit edilmiştir (Dris ve ark., 2017). Aynı çalışmada kapalı alanlarda açık alanlara kıyasla daha yüksek miktarda mikroplastik liflerine rastlanmıştır. Paris'te yapılan başka bir çalışmada kentsel ve banliyö olmak üzere iki farklı bölgenin hava ortamındaki mikroplastik kirliliği kıyaslanmıştır. Buna göre kentsel alanda tespit edilen lif miktarının günde ortalama 110 ± 96 partikül/ m^2 , banliyö bölgesinde ise günde ortalama 53 ± 38 partikül/ m^2 olduğu görülmüştür (Dris ve ark., 2016).

3.4. Türkiye'de durum

Tatlı su alanında yapılan bir çalışmada Yozgat'ta bulunan Cevdet Dünder Göletinin yüzey sularındaki mikroplastik kirliliği araştırılmıştır (Erdogan, 2020). Çalışmada incelenen beş örneklem noktasında ortalama 233 partikül/ m^3 mikroplastik kirliliğine rastlanmıştır. Kirliliğin büyük oranda (%56) $100-250$

µm boyut aralığındaki mikroplastiklerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Fiber formda bulunan mikroplastiklerin %91 oranla mikroplastiklerin baskın formunu oluşturduğu, yaygın mikroplastik polimerlerinin PP (%50) ve PE (%40)'den oluştuğu bildirilmiştir. Van Gölü'nde yürütülen bir çalışmada farklı bölgelerden alınan toplam 101 adet inci kefalinin (*Alburnus tarichi*) mide-bağırsak sisteminde balık başına 8 ile 124 arasında değişen miktarda mikroplastik bulundurduğu tespit edilmiştir. Bu oranın dünyadaki diğer çalışmalarla kıyaslandığında oldukça yüksek olduğu belirtilmektedir (Atici ve ark., 2021). Fethiye İç Koyu'nda uzun vadeli rüzgar, dalga ve yoğunluk katmanlarına bağlı sirkülasyon desenleri modellenerek mevcut iklim durumu simüle edilmiştir. Bu modeller kullanılarak mikroplastiklerin birikimi ve taşınımı için olası senaryolar oluşturulmuştur. Buna göre, kıyı sirkülasyonunun zayıf olduğu Fethiye İç Körfezi'nin güneybatı kıyı sularında ve Murt Nehri ağzının doğusunda kıyı sularında mikroplastik birikimi beklenmektedir (Genc ve ark., 2020).

İstanbul, Haliç sedimanlarında plastik kirliliğinin belirlenmesi için yapılan çalışmada mevsimsel olarak tortu örnekleme yapılmış ve tortularda bulunan plastik içeriği tespit edilmiştir. Toplam plastik miktarı 566 parçacık/kg ıslak tortu olarak kaydedilmiştir. İlkbaharda 115 (%20,3), yaz aylarında 105 (%18,6), sonbaharda 103 (%18,2) ve kış aylarında 243 (%42,9) parçacık/kg ıslak tortu olarak belirlenmiştir. Plastik boyutlaması sonuçlarına göre 1-2 mm aralığında 118 partikül mikroplastik tespit edilmiştir (Dogruyol ve ark., 2019). İstanbul'da yapılan başka bir çalışmada ise Anadolu yakası Karadeniz sahilindeki plastik kirliliği incelenmiştir. Sayısal olarak en yüksek yoğunluk Riva istasyonunda bulunurken, en düşük yoğunluk Şile Limanı'nda tespit edilmiştir (Şener ve ark., 2019). Karadenizin güneydoğu sahillerinde gerçekleştirilen bir çalışmada ise yüzey suyunda ortalama mikroplastik kirliliği 1100 ± 900 partikül/m³ ölçülmüştür (Aytan ve ark., 2016). On iki örneklem noktasından izole edilen mikroplastiklerin yaklaşık %49,4'ünün filament, %30,6'sının plastik film ve %20'sinin fragment formda bulunduğu bildirilmiştir. Marmara Denizi'nin yüzey sularındaki mikroplastik dağılımının incelendiği bir çalışmada mikroplastik konsantrasyonlarının komşu bölgelere göre daha yüksek olduğunu bildirmektedir (Tunçer ve ark., 2018).

Eylül 2018'de Ege ve Akdeniz'in kesiştiği Datça Yarımadası'nın kıyı şeridi boyunca uzanan kumsallarda mikroplastik kirliliğinin incelendiği bir çalışmada; hakim rüzgarlara ve yüzey akıntılarına maruz kalan tüm plajlarda mikroplastik fragmentlerin (%72) baskın kategori olduğunu bildirilmektedir. Datça Yarımadası'nda mikroplastik kontaminasyonunun, literatürde bulunan benzer bölgelere ait sonuçlardan daha yüksek olduğu gösterilmiştir ($1154,4 \pm 700,3$ parçacık/kg kuru ağırlık) (Yabanlı ve ark., 2019). Mersin ve İskenderun körfezinde gerçekleştirilen bir çalışmada ise mikro ve mezoplastik kirliliği araştırılmıştır (Gundogdu ve Cevik, 2017). Yedi örneklem noktasından alınan numunelerde ortalama $0,376$ plastik kirlilik/m² tespit edilmiştir. Her iki körfezde taranan toplam $4,75$ km² alandan izole edilen 1770 adet plastik kirliliğin 1063'ünün plastik fragment, 527'sinin plastik film, 130'unun filament, 47'sinin PE köpük ve 3 tanesinin granül formunda olduğu bildirilmiştir. Kirlilik boyutları 300 µm ile 3 cm aralığında, ortalama kirlilik boyutu 2,9 mm bulunmuştur. Çalışmada aynı zamanda örneklem noktalarının nehir ağzlarına olan uzaklıkları ile bu noktalarda tespit edilen

plastik kirlilik miktarı arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde negatif korelasyon ($r = -0,71$ ve $p < 0,05$) olduğu bildirilmiştir. Bu açıdan mikroplastik kontaminasyonunun yoğun olan noktaların bulunduğu, mikroplastiklerin heterojen dağılımına bağlı olarak örnek alınan bölgeler arasında büyük farklılıklar olacağı öngörülebilir. Mikroplastiklerin oluşturacağı riskler değerlendirilirken bu yoğun kirlilik bulunduran bölgelerin göz önüne alınması gerekmektedir.

Tuz gölünde 2015 ve 2016 yılları arasında yürütülen bir çalışmada farklı 5 bölgeden alınan örneklerde ilk yıl ortalama 72,6 parçacık/200 mg tuz; ikinci yıl ise 84 parçacık/200 mg tuz miktarlarında lif, parçacık ve film şeklinde mikroplastik tespit edilmiştir. Aynı çalışmada alınan su ve hava örneklerinde de mikroplastik tespit edilmiştir (Çatalbaş, 2017). Tuz örneklerinde mikroplastik varlığı ile ilgili başka bir çalışma Yurtsever (2017) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada on farklı markaya ait deniz, göl ve kaya tuzu örneklerinde bulunan mikroplastik kirliliği araştırılmıştır. Kaya, deniz ve göl tuzu örneklerinin 200 gramında sırasıyla ortalama 28, 56 ve 63 adet mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin ağırlıklı olarak poliamid türevleri olduğu ve boyutlarının çoğunlukla 300-500 μm aralığında olduğu belirtilmiştir. Bir başka çalışmada marketlerden temin edilen deniz tuzlarında 16-84 partikül/kg, göl tuzlarında 8-102 partikül/kg, kaya tuzlarında 9-16 partikül/kg aralığında mikroplastik kirliliği saptanmıştır (Gundogdu, 2018). Plastik polimerler içinde ağırlıklı olarak PE (%22,9) ve PP (% 19,2) türevleri tespit edilmiştir. Kirliliğe yol açan partiküllerin boyutlarının 20 μm ile 5 mm aralığında değiştiği ve ortalama partikül boyutunun 2,3 mm olduğu bildirilmiştir.

Gundogdu ve ark., (2020)'nin yaptıkları çalışmada Adana, Ankara, Bodrum, İstanbul ve İzmir illerinde olmak üzere 41 farklı noktadan temin edilen toplam 317 adet midye dolmasındaki mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Adana'da bir ve Bodrum'da üç satıcıdan temin edilen toplam 28 örnekte mikroplastik varlığına rastlanmamıştır. Tüm örnekler içinde ortalama $0,6 \pm 0,1$ mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin %62,7'sinin lif (ortalama maksimum boyut: $1,6 \pm 0,1$ mm), % 37,3'ünün partikül (ortalama maksimum çap: $1,8 \pm 0,1$ mm) formunda olduğu belirtilmiştir. Çalışmada rastgele seçilen 40 örnek raman spektroskopisi ile incelenmiş ve PP, PE ve selülozun baskın mikroplastik türü olduğu belirlenmiştir. İzmir Körfezinde iki farklı midye türü (*Mytilus galloprovincialis* ve *Ruditapes decussatus*) ile yapılan bir çalışmada 60 midye örneğinde toplam 1682 mikroplastik tespit edilmiştir. Buna göre İzmir Körfezinde mikroplastik kirliliği olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Yozukmaz, 2021). Gedik ve Eryasar (2020) tarafından yapılan bir çalışmada Karadeniz, Marmara ve Ege denizlerinde 23 farklı lokasyondan elde edilen midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Örneklerin %48'inde mikroplastik tespit edildiği bildirilmektedir. Ayrıca çalışmada elde edilen verilerden yola çıkılarak Türkiye'de midye tüketicilerinin yılda ortalama 1918 adet mikroplastığe maruz kaldıkları tahmin edilmiştir.

Başaran, (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise bir tekstil işletmesinde ortalama 5 adet mikroplastik/L parçacığın arıtma çıkışından kanalizasyona deşarj edildiği bildirilmektedir. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılan bir çalışmada ise mikroplastik giderim veriminin yaklaşık %92 olduğu fakat bu seviyede bile çıkıştaki mikroplastik miktarının 220,05 parçacık/L olduğu

bildirilmektedir (Bakkaloğlu, 2019). Öte yandan sucul alanlardaki plastik kontaminasyonunun büyük oranda karasal alanlardaki kontrolsüz atıklardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bununla birlikte karasal alanlarda depolanan plastik atıklarının ancak küçük bir kısmının geri dönüştürüldüğü bildirilmektedir (UNEP, 2018). Eurostat 2020 verilerine göre Avrupa Birliği ülkelerinden ihraç edilen 15,9 milyon ton plastik çöpün yaklaşık %18'inin Türkiye'ye geldiği bildirilmektedir. Plastiklerin kontrolsüz şekilde çevreye dökülmesi ve/veya yakılması sonucunda toprak, su ve hava kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda Greenpeace tarafından yürütülen çalışmada Adana ilinde 5 farklı çöp döküm sahasından (Yüreğir/İncirlik, Çukurova/Karahan-2, Çukurova/Karahan-3, Seyhan/Kuyumcular, Seyhan/Yenidam) toprak, kül, su ve nehir dibi çamur örnekleri incelenmiştir. Karahan-2 ve Karahan-3 lokasyonlarından alınan kül örneklerinde kirlenmemiş toprağa kıyasla 15 kat daha fazla kadmiyum ve 30 kat daha fazla kurşun tespit edildiği bildirilmiştir. Karahan-3 lokasyonundaki kül örneklerinde kontrol toprağına kıyasla 6000 kat fazla Dioksin/Furan tespit edildiği bildirilmektedir. Ayrıca dünya genelinde yasaklanmış olan heksaklorobenzen isimli POP, Karahan-2 ve Karahan-3 lokasyonlarında tespit edilmiştir. Seyhan/Kuyumcular lokasyonundan alınan örneklerde molibden seviyesinin yeraltı suyu kirliliği ile ilgili limitin 18 katı olduğu; kadmiyum miktarının, kontrol örneklerine kıyasla 40 ile 50 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir. Ayrıca tespit edilen 16 POP bileşiğinin kontrol örneklerine kıyasla 12 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir. Seyhan/Yenidam bölgesinden alınan örneklerde kontrol toprak örneğine kıyasla 1000 kat fazla PCB tespit edildiği bildirilmiştir. İncelenen kül örneklerinde heksaklorobenzen, su örneklerinde ise bütillenmiş hidroksi toluen saptandığı bildirilmektedir. Yüreğir/İncirlik lokasyonunda toprak numunesinde kontrole kıyasla 30.000 kat daha yüksek PCB tespit edildiği ifade edilmektedir. Bu bölgede tespit edilen Dioksin/Furan miktarı kontrole kıyasla 400.000 kat yüksek olduğu bildirilmektedir. İncirlik lokasyonunda bulunan yüzey suyunda iki klorlu organofosfat tespit edilmiştir. Ayrıca bölgenin metaller ve metaloidler açısından en kirli alan olduğu bildirilmektedir.

4. Plastiklerin Degredasyonu ve Geri Dönüşüm Sürecinde Yaşanan Olumsuzluklar

PET ve diğer plastik polimerler düşük maliyetleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle 1970'li yıllardan itibaren ambalajlama, inşaat ve yapı malzemeleri, otomotiv, elektronik ve tarım sektörlerinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Plastik polimerlerin en büyük dezavantajı ise büyük ölçüde inert kimyasal yapılarından ötürü doğada parçalanmadan birikmeleridir. Polimerleri oluşturan karbon-karbon iskeletindeki fonksiyonel grupların aktifliğinin düşük olması, polimerlerin yüksek hidrofobik karakteri ve polimer zinciri içindeki grupların düşük mobilitesi gibi nedenlerden ötürü plastikler, mikrobiyal enzimlerin hidrolizine karşı oldukça dayanıklıdır (Taniguchi ve ark., 2019). Öte yandan bitkilerde bulunan kütin tabakasını parçalayan kütinaz enziminin aynı zamanda PET gibi aromatik polyesterler üzerinde hidrolitik aktivite gösterebildiği bilinmektedir. Kütinazın polyesteraz aktivitesi ilk defa 2005 yılında Alman bir araştırmacı grubunun *Thermobifida fusca* kaynaklı kütinaz enzimi ile gerçekleştirdikleri çalışmada bildirilmiştir (Müller ve ark., 2005). Takip eden yıllarda yapılan

çalışmalarda kütinazın polyesterlerin hidrolizinde önemli rol oynadığı ortaya konmuştur (Tokiwa ve Calabia 2007; Zimmermann ve Billig 2011; Baker ve ark., 2012). Bununla birlikte plastiklerin kullanıma girmesinin üzerinden 50 yıldan fazla zaman geçmiştir. PET ve benzeri polimer atıklarının yoğunlaştığı alanlarda bulunan mikroorganizmaların geçen zaman içinde bu polimerleri parçalayacak şekilde uyum sağladıkları düşünülebilir. Bu yaklaşımla 2016 yılında gerçekteşirilen bir çalışmada PET atıklarının bulunduğu 250 farklı noktadan örnekleme yapılarak gelişmek için birincil karbon kaynağı olarak PET kullanabilen mikroorganizmalar araştırılmıştır (Yoshida ve ark., 2016). Örneklemlerden hazırlanan kültür sıvılarının bir tanesinden karbon kaynağı olarak PET kullanan *Ideonella sakaiensis* 201-F6 adı verilen bakteri türü izole edilmiştir. Bakterinin gösterdiği PET hidroliz aktivitesi, benzer şekilde PET hidroliz aktivitesi gösteren *Thermobifida fusca* kaynaklı kütinaz enzimi ile %51 oranında eşleşen bir enzim ile ilişkilendirilmiştir. PETase olarak adlandırılan enzimin PET hidroliz aktivitesinin *Thermobifida fusca* kaynaklı enzime kıyasla 120 kat, *Fusarium solani* kaynaklı enzime kıyasla 88 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada günümüze kadar tanımlanmış kütinaz benzeri enzimlerin çeşitli plastik polimerler üzerindeki degradasyon kapasiteleri araştırılmıştır (Tournier ve ark., 2020). Çalışmada yaprak dalı kompostundan izole edilen PET hidroliz enziminin (LCC) 10 saat içinde amorf PET'in %90'ını parçalayarak diğer mikrobiyal kaynaklı enzimlerden en az 33 kat fazla aktivite gösterdiği belirtilmiştir. LCC enziminin stabilitesini koruduğu en yüksek sıcaklığın 84,7°C olduğu belirlenmiş ve bu değerin tüm diğer PET hidroliz enzimlerinden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Enzim aktivitesinin arttırılması için orijinal LCC enziminin katalitik bölgesinin 209 adet varyantı araştırılmış 2 varyantın PET hidroliz aktivitesinin, 4 varyantın termal stabilitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Dünya genelinde yıllık 380 milyon ton plastik üretilirken bu miktarın ancak %20'den daha azı geri dönüştürülebilmektedir. Yeniden üretim döngüsüne dahil edilemeyen plastiklerin büyük kısmı atık yakma ünitelerinde bertaraf edilirken bir kısmı çöp depolama alanlarında biriktirilmekte önemli bir kısmı da karasal ve sucul alanlara karışmaktadır. Plastik atıkların biyolojik yöntemlerle monomerlerine parçalanması plastiklerin yeniden kullanım döngüsüne dahil edilmeleri sürecinde verimli ve ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyolojik dönüşüm çalışmaları doğada var olan enzimlerin araştırılması veya benzer enzimlerin moleküler yöntemlerle tasarlanması doğrultusunda ilerlemektedir.

5. Sonuç

Son yirmi yılda yoğun bir çalışmanın konusu olan mikroplastikler; düşük yoğunluklu ve kalıcı olmaları nedeniyle sucul ve karasal ortamlarda yaygın olarak gözlenebilmektedir. Sucul alanlarda mikroplastiklerin dağılımı ve etkileri kısmen de olsa daha kapsamlı olarak incelenirken, mikroplastiklerin karasal alanlardaki oluşumları ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri hakkında daha az bilgi bulunmaktadır. Mikroplastik kirliliğinin doğa ve canlılar üzerindeki etkilerini anlamamız için plastik atıklar, mikro/nanoplastikler ve bunlardan kaynaklanabilecek kimyasal kirlilik,

mikrobiyal kontaminasyon bir bütün olarak ele alınmalıdır. Doğrudan kirlilik yaratma potansiyeli olan bazı tek kullanımlık plastiklerin üretiminin ve kullanılmasının önlenmesi veya kısıtlanması ile ilgili düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Biyolojik degradasyona karşı oldukça dayanıklı olan plastik polimerlerin dönüştürülme oranının oldukça düşük olması, atık yönetimi politikalarının eksikliği ile birleştiğinde karasal alanlardaki plastik kirliliği artmaktadır. Bu anlamda plastik polimerlerini parçalayabilen mikroorganizmaların veya rekonbinant enzimlerin geri dönüştürülen plastik miktarının artırılması katkı sağlayabileceği göz önüne alınmalıdır. Yurt dışından ithal edilen plastik çöpü başta olmak üzere plastiklerin ne oranda dönüştürüldüğünün, ne kadarının yakıldığı veya gömüldüğünün etkin bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. Mikroplastik kirliliği küresel bir sorundur ve çözümü için uluslararası politikalar izlenmesi gerekmektedir. Mikroplastik maruziyetinin yüksek olduğu sektörlerde çalışan bireyler için maske gibi koruyucu ekipmanların kullanımı zorunlu kılınmalı ve bireyler sağlık riskleri konusunda bilinçlendirilmelidir. Bununla beraber mikroplastik kontaminasyonu yüksek olan kapalı çalışma alanlarındaki havalandırma sistemlerinin tasarımında mikroplastikleri filtreleyebilecek sistemler kullanılmalıdır.

Plastik kirlilik tamamen antropojenik bir kirliliktir. Bu bağlamda, tüketiciler dikkatli ve duyarlı bir tutum sergilemelidir. Benzer şekilde üreticilerin plastik atıklar konusundaki yaklaşımları sorunun çözümünde önemli rol oynayacaktır. Bunlara ek olarak devletler, yasalar ve yaptırımlar yoluyla plastik atık yönetimi için sürdürülebilir stratejiler oluşturmalıdır. Mikroplastikler ile taşınan kimyasal kirleticilerin toksik etkilerinin artabileceği öngörülmektedir. Fakat deneysel modellemelerle elde edilen ampirik kanıtların doğal şartlarda aynı şekilde geçerli olup olmayacağı tam olarak aydınlatılamamıştır.

Çevreye karşı sorumlu davranış, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı, atıkların yeniden kullanımı, atıkların geri dönüştürülerek değerlendirilmesi, ayırma ve bertaraf etme gibi çeşitli eylemler mikroplastik kirliliğinin önlenmesi için oldukça önemlidir. Sürdürülebilir bir çevre için üretim ve tüketimin de sürdürülebilir olması gerekmektedir. Bilinçli tüketim, kaynakların sürdürülebilir kullanımı gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan, belirli bir yaşam kalitesine ulaşmaya ve temel ihtiyaçlar sağlamaya odaklanmaktadır. Bu anlamda artan nüfusun gereksinimlerini karşılamak için çevre ile uyumlu biyobozunur alternatif materyallerin araştırılması ve geliştirilmesi daha sürdürülebilir bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

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

- Abbasi S., Keshavarzi B., Moore F., Turner A., Kelly FJ., Dominguez AO., Jaafarzadeh N. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental Pollution* 2019; 244: 153-164.
- Alomar C., Estarellas F., Deudero S. Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research* 2016; 11: 1–10.
- Akdogan Z., Guven B. Microplastics in the environment: a critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environmental Pollution* 2019; 254: 113011.
- An R., Wang X., Yang L., Zhang J., Wang N., Xu F., Zhang L. Polystyrene microplastics cause granulosa cells apoptosis and fibrosis in ovary through oxidative stress in rats. *Toxicology* 2021; 449: 152665.
- Andrady AL., Neal MA. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009; 364(1526): 1977-1984.
- Arthur C., Baker J., Bamford H. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. In *National Oceanic and Atmospheric Administration* 2009.
- Atici AA., Sepil A., Sen F. High levels of microplastic ingestion by commercial, planktivorous *Alburnus tarichi* in Lake Van, Turkey. *Food Additives & Contaminants: Part A* 2021; 38(10): 1767-1777.
- Aytan U., Valente A., Senturk Y., Usta R., Sahin FBE., Mazlum RE., Ağırbaş E. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters. *Marine Environmental Research* 2016; 119: 22-30.
- Backert S., Tegtmeier N., Cróinín TO., Boehm M., Heimesaat MM. Human campylobacteriosis. In *Campylobacter*; (Klein, G., Ed.); Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2017; 1-25.
- Baker PJ., Poultney C., Liu Z., Gross RA., Montclare JK. Identification and comparison of cutinases for synthetic polyester degradation. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2011; 93: 229-240.
- Bakir A., O'Connor IA., Rowland SJ., Hendriks AJ., Thompson RC. Relative importance of microplastics as a pathway for the transfer of hydrophobic organic chemicals to marine life. *Environmental Pollution* 2016; 219: 56-65.
- Bakkaloğlu E. Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbeti ve taşınımı. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi* 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Barnes DKA., Galgani F., Thompson RC., Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009; 364(1526): 1985–1998.
- Başaran T. Tekstil endüstrisi atıksuyunda ve iç ortam havasında mikroplastiklerin incelenmesi. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi* 2019, Sakarya Üniversitesi, Türkiye.

- Batel A., Linti F., Scherer M., Erdinger L., Braunbeck T. Transfer of benzo[a]pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2016; 35(7): 1656–1666.
- Blackledge RD., Jones EL. All that glitters is gold !. In *Forensic Analysis on the Cutting Edge* 2007; 41: 1–32.
- Biber NFA., Foggo A., Thompson RC. Characterising the deterioration of different plastics in air and seawater. *Marine Pollution Bulletin* 2019; 141(June 2018): 595–602.
- Boucher J., Friot D. *Primary microplastics in the oceans: A Global Evaluation of Sources* 2017.
- Bouwmeester H., Hollman PCH., Peters RJB. Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental Science & Technology* 2015; 49(15): 8932–8947.
- Browne Mark A., Dissanayake A., Galloway TS., Lowe DM., Thompson RC. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology* 2008; 42(13): 5026–5031.
- Browne Mark A., Crump P., Niven SJ., Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology* 2011; 45(21): 9175–9179.
- Browne Mark A., Underwood AJ., Chapman MG., Williams R., Thompson RC., van Franeker JA. Linking effects of anthropogenic debris to ecological impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2015; 282(1807): 20142929.
- Choi JS., Jung YJ., Hong NH., Hong SH., Park JW. Toxicological effects of irregularly shaped and spherical microplastics in a marine teleost, the Sheepshead Minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Marine Pollution Bulletin* 2018; 129(1): 231–240.
- Chubarenko I., Efimova I., Bagaeva M., Bagaev A., Isachenko I. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: insights from laboratory experiments. *Marine Pollution Bulletin* 2020; 150(September 2019): 110726.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin* 2011; 62(12): 2588–2597.
- Çatalbaş F. Tuz gölü tuzlarında mikroplastik varlığının incelenmesi. *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi* 2017, Sakarya Üniversitesi, Türkiye.
- Comaklı E., Bingöl MS., Bilgili, A. Assessment of microplastic pollution in a crater lake at high altitude: a case study in an urban crater Lake in Erzurum, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution* 2020; 231(6): 1-6.
- Doğruyol P., Sener M., Balkaya N. Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey. *Desalination And Water Treatment* 2019; 172(October 2018): 344–350.

- Dris R., Gasperi J., Saad M., Mirande C., Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment. *Marine Pollution Bulletin* 2016; 104(1–2): 290–293.
- Dris R., Gasperi J., Mirande C., Mandin C., Guerrouache M., Langlois V., Tassin B. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution* 2017; 221: 453–458.
- Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 2016; 28(1): 1–25.
- ECHA, Plastic additives initiative. Supplementary Information on Scope and Methods https://echa.europa.eu/documents/10162/17228/plastic_additives_supplementary_en.pdf/79bea2d6-8e45-f38c-a318-7d7e812890a1 (Erişim Tarihi 03.02.2022).
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal* 2016; 14(6): 4501. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- Egger M., Sulu-Gambari F., Lebreton L. First evidence of plastic fallout from the North Pacific Garbage Patch. *Scientific Reports* 2020; 10(1): 1–10.
- Erdogan S. Microplastic pollution in freshwater ecosystems: a case study from Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2020; 37(3): 213-221.
- EUROSTAT. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20211124-1>. (Erişim Tarihi 19.04.2022)
- Farrell P., Nelson K. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution* 2013; 177: 1–3.
- Free CM., Jensen OP., Mason SA., Eriksen M., Williamson NJ., Boldgiv B. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin* 2014; 85(1): 156–163.
- Fossi MC., Panti C., Guerranti C., Coppola D., Giannetti M., Marsili L., Minutoli R. Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin* 2012; 64(11): 2374–2379.
- Gasperi J., Wright SL., Dris R., Collard F., Mandin C., Guerrouache M., Tassin B. Microplastics in air: Are we breathing it in ?. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018; 1: 1–5.
- Gedik K., Eryasar AR. Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts. *Chemosphere* 2020; 260: 127570.
- Genc AN., Vural N., Balas L. Modeling transport of microplastics in enclosed coastal waters: a case study in the Fethiye Inner Bay. *Marine Pollution Bulletin* 2020; 150 (November 2019): 110747.
- Gigault J., El Hadri H., Nguyen B., Grass B., Rowenczyk L., Tufenkji N., Wiesner, M. Nanoplastics are neither microplastics nor engineered nanoparticles. *Nature nanotechnology* 2021; 16(5): 501-507.

- Granby K., Rainieri S., Rasmussen RR., Kotterman MJJ., Sloth JJ., Cederberg TL., Larsen BK. The influence of microplastics and halogenated contaminants in feed on toxicokinetics and gene expression in European Seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Environmental Research* 2018; 164(February): 430–443.
- Greenpeace. Atık oyunları raporu. <https://www.greenpeace.org/turkey/raporlar/rapor-atik-oyunlari-geri-donusumsuz-hayatlar> (Erişim Tarihi 19.04.2022)
- Grigorakis S., Mason SA., Drouillard KG. Determination of the gut retention of plastic microbeads and microfibers in goldfish (*Carassius auratus*). *Chemosphere* 2017; 169: 233–238.
- Gutow L., Eckerlebe A., Giménez L., Saborowski R. Experimental evaluation of seaweeds as a vector for microplastics into marine food webs. *Environmental Science & Technology* 2016; 50(2): 915–923.
- Gundogdu S., Cevik C. Micro- and mesoplastics in northeast levantine coast of Turkey: the preliminary results from surface samples. *Marine Pollution Bulletin* 2017; 118: 341-347.
- Gundogdu S. Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A* 2018; 35(5): 1006-1014.
- Gundogdu S., Cevik C., Atas NT. Stuffed with microplastics: microplastic occurrence in traditional stuffed mussels sold in the Turkish Market. *Food Bioscience* 2020; 37: 100715.
- Hirai H., Takada H., Ogata Y., Yamashita R., Mizukawa K., Saha M., Ward MW. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin* 2011; 62(8): 1683–1692.
- Horton AA., Walton A., Spurgeon DJ., Lahive E., Svendsen C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment* 2017; 586: 127–141.
- Hours M., Fevotte J., Lafont S., Bergeret A. Cancer mortality in a synthetic spinning plant in Besancon, France. *Occupational and Environmental Medicine* 2007; 64(9): 575–581.
- Isinibilir M., Svetlichny L., Mykitchak T., Türkeri EE., Eryalçın KM., Doğan O., Kideys AE. Microplastic consumption and its effect on respiration rate and motility of *Calanus helgolandicus* from the Marmara Sea. *Frontiers in Marine Science* 2020; 7: 1167.
- Kadızoade G. Mikroplastikler üzerine ağır metal adsorpsiyonu araştırılması. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi 2019, Sakarya Üniversitesi, Türkiye.
- Koelmans AA., Nor NHM., Hermesen E., Kooi M., Mintenig SM., De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Research* 2019; 155: 410-422.
- Kosuth M., Mason SA., Wattenberg EV. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *Plos One* 2018; 13(4): e0194970.

- Kukulka T., Proskurowski G., Morét-Ferguson S., Meyer DW., Law KL. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters* 2012; 39: L07601.
- Lambert S., Sinclair C., Boxall A. Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 2014; In D. M. Whitacre (Ed.): Volume 227.
- Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A., Noble K., Debeljak P., Maral H., Schoeneich-Argent R., Brambini R., Reisser J. Evidence that the great pacific garbage patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports* 2018; 8(1): 4666.
- Lee H., Shim WJ., Kwon JH. Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Science of the Total Environment* 2014; 470–471: 1545–1552.
- Leslie HA., van Velzen MJM., Brandsma SH., Vethaak AD., Garcia-Vallejo JJ., Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International* 2022; December 2021:107199.
- Li J., Qu X., Su L., Zhang W., Yang D., Kolandhasamy P., Li D., Shi H. Microplastics in mussels along the Coastal Waters of China. *Environment Pollution* 2016; 214: 177–184.
- Liebezeit G., Liebezeit E. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives Contaminants* 2013; 30: 2136–2140.
- Liebezeit G., Liebezeit E. Synthetic particles as contaminants in german beers. *Food Additives Contaminants* 2014; 31: 1574–1578.
- Liebezeit G., Liebezeit E. Origin of synthetic particles in honeys. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 2015; 65: 143–147.
- Lithner D., Damberg J., Dave G., Larsson A. Leachates from plastic consumer products – screening for toxicity with *Daphnia magna*. *Chemosphere* 2009; 74(9): 1195–1200.
- Lohmann R. Microplastics are not important for the cycling and bioaccumulation of organic pollutants in the oceans-but should microplastics be considered POPs themselves. *Integrated Environmental Assessment and Management* 2017; 13(3): 460–465.
- Lu Y., Zhang Y., Deng Y., Jiang W., Zhao Y., Geng J., Ding L., Ren H. uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental Science & Technology* 2016; 50(7): 4054–4060.
- Lusher AL., Tirelli V., O'Connor I., Officer R. Microplastics in arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports* 2015; 5(1): 14947.
- Magana-Arachchi DN., Wanigatunge RP. Ubiquitous waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* 2020; 15–42.
- Mason SA., Welch VG., Neratko J. Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry* 2018; 6 (September).

- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology* 2001; 35(2): 318–324.
- McCormick A., Hoellein TJ., Mason SA., Schlupe J., Kelly JJ. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science & Technology* 2014; 48(20): 11863–11871.
- Mühlschlegel P., Hauk A., Walter U., Sieber R. Lack of evidence for microplastic contamination in honey. *Food Additives Contaminants* 2017; 34: 1982–1989.
- Müller RJ., Schrader H., Profe J., Dresler K., Deckwer WD. Enzymatic degradation of poly(ethylene terephthalate): rapid hydrolysis using a hydrolase from *T. fusca*. *Macromol Rapid Commun* 2005; 26, 1400–1405.
- Naik RA., Rowles LS., Hossain AI., Yen M., Aldossary RM., Apul OG., Saleh NB. Microplastic particle versus fiber generation during photo-transformation in simulated seawater. *Science of The Total Environment* 2020; 736: 139690.
- Nelms SE., Galloway TS., Godley BJ., Jarvis DS., Lindeque PK. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution* 2018; 238: 999–1007.
- Oberbeckmann S., Löder MGJ., Labrenz M. Marine microplastic-associated biofilms – a review. *Environmental Chemistry* 2015; 12(5): 551.
- PAGEV, Plastik Sektörü 2021 Yılı İlk 11 Aylık Kıyaslama Bilgi Notu.
<https://pagev.org/upload/files/PLAST%C4%B0K%20SEKT%C3%96R%C3%9C%202021%20YILI%20%C4%B0LK%2011%20AYLIK%20KIYASLAMA%20B%C4%B0LG%C4%B0%20NOTU.pdf>. (Erişim tarihi 14.01.2022)
- Plastics Europe, Plastics-the facts 2021; <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf> (Erişim tarihi 13.01.2022)
- Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health ?. *Environmental Pollution* 2018; 234: 115–126.
- Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti MCA., Baiocco F., Draghi S., D’Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International* 2021; 146: 106274.
- Rainieri S., Conlledo N., Larsen BK., Granby K., Barranco A. Combined effects of microplastics and chemical contaminants on the organ toxicity of zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Research* 2018; 162(January): 135–143.
- Rainieri S., Barranco A. Microplastics, a food safety issue ?. *Trends in Food Science & Technology* 2019; 84(June 2017): 55–57.
- Renzi M., Blaskovic A. Litter and microplastics features in table salts from marine origin: Italian versus croatian brand. *Marine Pollution Bulletin* 2018; 135: 62–68.

- Reynaud S., Aynard, A., Grassl B., Gigault, J. Nanoplastics: From model materials to colloidal fate. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 2022; 57: 101528.
- Santana MFM., Moreira FT., Turra A. Trophic transference of microplastics under a low exposure scenario: insights on the likelihood of particle cascading along marine food-webs. *Marine Pollution Bulletin* 2017; 121(1–2): 154–159.
- Sajiki J., Yonekubo J. Leaching of bisphenol A (BPA) to seawater from polycarbonate plastic and its degradation by reactive oxygen species. *Chemosphere* 2003; 51(1): 55–62.
- Schymanski D., Goldbeck C., Humpf HU., Fürst P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* 2018; 129: 154–162.
- Shen W., Sun J., Yao F., Lin K., Yuan Y., Chen Y., Han H., Li Z., Zou J., Jiao X. Microbiome in intestinal lavage fluid may be a better indicator in evaluating the risk of developing colorectal cancer compared with fecal samples. *Translational Oncology* 2020; 13(5): 100772.
- Suaria G., Aliani S. Floating debris in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 2014; 86(1–2): 494–504.
- Şener M., Doğruyol P., Balkaya N. Microplastic pollution in the Black Sea Coast of the Anatolian Side of Istanbul, Turkey. *Desalination and Water Treatment* 2019; 172 (October 2018): 351–358.
- Taniguchi I., Yoshida S., Hiraga K., Miyamoto K., Kümura Y., Oda K. Biodegradation of PET: Current Status and Application Aspects. *Catalysis* 2019; 9: 4089–4105.
- Tokiwa Y., Calabria BP. Biodegradability and biodegradation of polyesters. *Journal of Polymers and the Environment* 2007; 15: 259–267.
- Tournier V., Topham CM., Gilles A. An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. *Nature* 2020; 580: 216–219.
- Tunçer S., Artüz OB., Demirkol M., Artüz ML. First report of occurrence, distribution, and composition of microplastics in surface waters of the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Pollution Bulletin* 2018; 135(June): 283–289.
- Turner A., Holmes LA. Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water. *Environmental Chemistry* 2015; 12(5): 600.
- Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191225M1-10.htm> (Erişim Tarihi 04.10.2021).
- UNEP. *Plastics: A Roadmap for Sustainability*. In *Single-use Plastic: A Roadmap for Sustainability*, 2018. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Van Cauwenberghe L., Janssen CR. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution* 2014; 193: 65–70.
- Van Cauwenberghe L., Claessens M., Vandegehuchte MB., Janssen CR. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution* 2015; 199: 10–17.
- Velzeboer I., Kwadijk CJAF., Koelmans AA. Strong sorption of PCBs to nanoplastics, microplastics, carbon nanotubes, and fullerenes. *Environmental Science & Technology* 2014; 48(9): 4869–4876.
- Ventrice P., Ventrice D., Russo E., De Sarro G. Phthalates: European regulation, chemistry, pharmacokinetic and related toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 2013; 36(1): 88–96.
- Wang J., Zheng L., Li J. A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management in China. *Waste Management & Research* 2018; 36(10): 898–911.
- Wang LC., Chun-Te Lin J., Dong CD., Chen CW., Liu TK. The sorption of persistent organic pollutants in microplastics from the coastal environment. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 420: 126658.
- Watts AJR., Lewis C., Goodhead RM., Beckett SJ., Moger J., Tyler CR., Galloway TS. Uptake and retention of microplastics by the shore crab *carcinus maenas*. *Environmental Science & Technology* 2014; 48(15): 8823–8830.
- Woodall LC., Sanchez-Vidal A., Canals M., Paterson GLJ., Coppock R., Sleight V., Calafat A., Rogers AD., Narayanaswamy BE., Thompson RC. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science* 2014; 1(4): 140317.
- World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/campylobacter> (Erişim Tarihi 11.10.2021).
- Wright SL., Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental Science & Technology* 201; 51(12): 6634–6647.
- Wu B., Wu X., Liu S., Wang Z., Chen L. Size-dependent effects of polystyrene microplastics on cytotoxicity and efflux pump inhibition in human caco-2 cells. *Chemosphere* 2019; 221: 333–341.
- Xie MY., Ni H., Zhao DS., Wen LY., Li KS., Yang HH., Wang SS., Zhang H., Su H. Exposure to bisphenol A and the development of asthma: a systematic review of cohort studies. *Reproductive Toxicology* 2016; 65: 224–229.
- Yabanli M., Yozukmaz A., Sener I., Olmez OT. Microplastic pollution at the intersection of the Aegean and Mediterranean Seas: A study of the Datça Peninsula (Turkey). *Marine Pollution Bulletin* 2019; 145(May): 47–55.

- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaj, H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science* 2016; 351 (6228): 1196-1199.
- Yozukmaz A. Investigation of microplastics in edible wild mussels from İzmir Bay (Aegean Sea, Western Turkey): A risk assessment for the consumers. *Marine Pollution Bulletin* 2021; 171: 112733.
- Yurtsever M. Abiyotik bir su ürünü olan sofrta tuzunda mikroplastik kirliliği tehlikesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2018; 35(3): 243-249.
- Yurtsever M. Glitters as a source of primary microplastics: an approach to environmental responsibility and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 2019a; 32(3): 459–478.
- Yurtsever M. Tiny, shiny, and colorful microplastics: Are regular glitters a significant source of microplastics?, *Marine Pollution Bulletin* 2019b; 146(July): 678–682.
- Zhang C., Chen X., Wang J., Tan L. Toxic effects of microplastic on marine microalgae *skeletonema costatum*: interactions between microplastic and algae. *Environmental Pollution* 2017; 220: 1282–1288.
- Zhu L., Wang H., Chen B., Sun X., Qu K., Xia B. Microplastic ingestion in deep-sea fish from the South China Sea. *Science of The Total Environment* 2019; 677: 493–501.
- Zimmermann W., Billig S. Enzymes for the biofunctionalization of poly(ethylene terephthalate). *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology* 2011; 125: 97-120

Vanadyumun Sağlık Açısından Önemi, Maruziyeti ve Toksisitesi

Fazilet GÖK^{1*}, Suat EKİN²

^{1,2}Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyokimya Anabilim Dalı, Van, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-6328-6905>

²<http://orcid.org/0000-0002-6502-5028>

*Sorumlu yazar: faziletgok@gmail.com

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 20.01.2022

Kabul tarihi: 26.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Diyabet

İmmün sistemi

Kardiyovasküler sistem

Maruziyet

Toksisite

Vanadyum

ÖZ

Vanadyum (V) doğada yaygın olarak dağılmış olan bir iz elementtir ve insan dahil neredeyse tüm canlı organizmalarda bulunur. Vanadyumun önemi insanlarda ve hayvanlarda hala net olmasa da düşük konsantrasyonlarda mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar için gereklidir. Canlı organizmalardaki eksikliği ise birçok yan etkiyle ilişkilidir. İnsanlarda çok çeşitli farmakolojik özellikler sergileyen V, insülini taklit etme etkisinden dolayı diyabeti tedavi etmek için diyet takviyelerinin bir bileşeni haline gelmiştir. Vanadyum ayrıca plazmayı korur. Kan hemoglobini V eksikliğinden etkilenmez, ancak V eksikliği olan diyetler amino asit metabolizmasını değiştirmeden kreatinin, trigliseritler, β -lipoprotein ve enzim benzeri glutamil transferaz ve sitrik asit döngüsünün aktivitelerini artırır. Kolesterol düzeylerini, kalp hastalığını, sifilizi, tüberkülozu, anemiye ve ödemi azalttığı, hemoglobin ve miyoglobinin oksijen afinitesinin artırılmasında rol oynadığı, iyot metabolizması ve tiroid fonksiyonu için gerekli olduğu bildirilmektedir. Kemiklerde kalsiyum birikimini kolaylaştırarak kemik kolajen sentezinde, osteojenik ve osteoblastik aktivite için gereklidir, serum lipid düşürme kabiliyetine sahiptir, diyabetik koşullarda potansiyel bir antioksidan ajan olarak hareket eder. Vanadyum bileşiklerinin immün regülasyonda rol oynadığı bilinmektedir ve gelecekteki immünoterapiye yönelik umut verici metal ilaçlar olarak kullanılabilir. Kardiyovasküler ve sinir sisteminde görev alır. Anti-parazitik, anti-viral, anti-HIV, anti-tüberküloz, anti-bakteriyel ve anti-tümör ajanları olarak da rol oynar, ancak ortalama 90 mg/kg konsantrasyonda topraktaki vanadyum, potansiyel olarak tehlikeli kirlenici olarak kabul edilmiştir. Yüksek seviyelerde önemli toksik etkiler yaratabilir. İnsanlardaki fazla vanadyum, böbreklerde, karaciğerde, dalakta, kemiklerde ve lökositlerde morfolojik ve fonksiyonel lezyon riskini artırabilir. Bu derleme makalede, vanadyumun sağlığımıza nasıl etkileri olduğunu incelemek ve yararının yanında doza bağımlı olarak toksik etkilerini araştırmak amaçlanmıştır.

Health Importance, Exposure and Toxicity of Vanadium

Review Article

Article History:

Received: 20.01.2022

Accepted: 26.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Diabetes

Immune system

Cardiovascular system

Exposure

Toxicity

Vanadium

ABSTRACT

Vanadium (V) is a trace element widely distributed in nature and found in almost all living organisms, including humans. Although the importance of vanadium in humans and animals is still unclear, lower concentrations are essential for microorganisms, plants and animals. Its deficiency in living organisms is associated with many adverse effects. Displaying a wide variety of pharmacological properties in humans, vanadium has become an ingredient in dietary supplements to treat diabetes due to its insulin imitating effect. Vanadium protects plasma. Blood hemoglobin is not affected by V deficiency, but V-deficient diets increase the activities of creatinine, triglycerides, β -lipoprotein and enzyme-like glutamyl transferase and citric

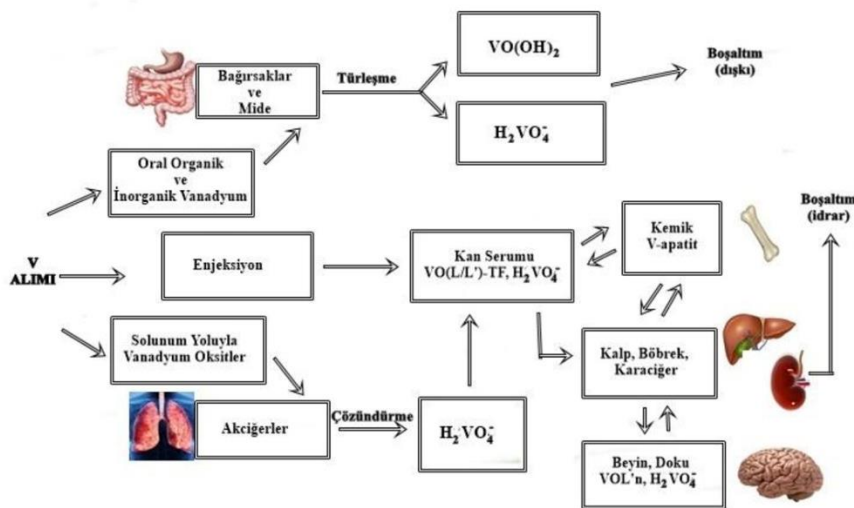
acid cycle without altering amino acid metabolism. It is reported that it reduces cholesterol levels, heart disease, syphilis, tuberculosis, anemia and edema, plays a role in increasing the oxygen affinity of hemoglobin and myoglobin, and is necessary for iodine metabolism and thyroid function. It is necessary for bone collagen synthesis, osteogenic and osteoblastic activity by facilitating calcium deposition in bones, has serum lipid lowering ability, acts as a potential antioxidant agent in diabetic conditions. Vanadium compounds are known to play a role in immune regulation and can be used as promising metal drugs for future immunotherapy. It takes part in the cardiovascular and nervous systems. It also plays a role as anti-parasitic, anti-viral, anti-HIV, anti-tuberculosis, anti-bacterial and anti-tumor agents, but vanadium formed in soil at an average concentration of 90 mg/kg has been recognized as a potentially hazardous contaminant. High levels can produce significant toxic effects. Excess vanadium in humans can increase the risk of morphological and functional lesions in the kidneys, liver, spleen, bones, and leukocytes. In this review article, it is aimed to examine how vanadium affects our health and to investigate its toxic effects in a dose-dependent manner as well as its benefits.

To Cite: Gök F., Ekin S. Vanadyumun Sağlık Açısından Önemi, Maruziyeti ve Toksikitesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1843-1854.

1. Giriş

Atom numarası 23, molekül ağırlığı 50,9415 g/mol, erime noktası 1890 °C ve kaynama noktası 3380 °C olan vanadyum (V), periyodik tablonun 5B grubunda bulunan bir geçiş elementidir (Tripathi ve ark., 2018).

Yiyeceklerin çoğu düşük konsantrasyonlarda vanadyum (0,1 ng/g) içermesine rağmen, vanadyum alımının başlıca kaynaklarıdır. İnsanlarda gastrointestinal sistemden vanadyumun absorpsiyonu zayıftır, böbreklerde nispeten daha hızlı ve idrarda 20-40 saatlik bir yarılanma ömrü vardır (Sanna ve ark., 2017). Şekil 1’de, insan vücudunda vanadyum bileşiklerinin alımı, dağıtımı ve atılımı ile ilgili bazı ana yönler özetlenmektedir:



Şekil 1. İnsan vücudunda vanadyum bileşiklerinin alımı, dağıtımı ve atılımı (Sanna ve ark., 2017) (L ve L', olası biyoligandlar (örneğin, laktat, sitrat, glutatyon); Tf, insan serum transferrin)

Bu derleme makalemizde, vanadyumun sağlığımız açısından önemini vurgulamak amacıyla, farklı çalışmalarda araştırılmış vanadyum bileşiklerini ayrıntılı incelemek, ayrıca bu bileşiklerin vücudumuzdaki etkilerini ve yan etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

1.1. Diyabette Vanadyum Bileşikleri

Diabetes mellitus (diyabet veya DM), uzun bir süre, bazen neredeyse bir ömür boyu yüksek kan şekeri seviyesinin olduğu bir grup metabolik hastalıktır. Diyabet, var olmayan ya da yetersiz bir insülin tedariki veya insüline yetersiz yanıtla indüklenen bozulmuş bir glukoz ve yağ asidi metabolizması ile ilişkilidir. Diabetes mellitus tip 1 (DM tip 1) durumunda vücuttaki insülin üreten hücreler tahrip olurken, Diabetes mellitus tip 2 (DM tip 2) durumunda vücut hücreleri üretilen insüline uygun şekilde yanıt vermez (Cavan ve ark., 2015).

İnsülin, pankreasın β hücreleri tarafından salgılanan anabolik bir peptid hormonudur, insan metabolizmasının düzenlenmesinde kritik bir rol oynar. İnsülin yaygın olarak glikoz homeostazını düzenleyen hormon olarak görülmesine rağmen, artık çok daha geniş bir pleiotropik role sahip olduğu bilinmektedir (Levine ve Goldstein, 1949).

Diyabetteki etkilerini belirlemek için birçok çalışmada farklı vanadyum bileşikleri çalışılmıştır. Vanadyumun insülin benzeri etkileri ilk olarak McNeill ve ark. (1985) tarafından streptozotosin (STZ)-diyabetik sıçanların içme suyuna birkaç hafta süreyle basit sodyum ortovanadat (Na_3VO_4) eklenmesiyle *in vivo* olarak gösterilmiştir. Daha sonra sadece kısmen çözünür vanadatlar (anyonik formdaki *in vivo* vanadyum, $[\text{H}_2\text{VO}_4^-]$), $\text{VO}(\text{IV})\text{SO}_4$ ile değiştirilmiş ve sonuçta daha az olumsuz yan etkilere rastlanmıştır (Jakusch ve Kiss., 2017).

Vanadyum bileşiklerinin insülin benzeri etkiler sergilediği ve küçük moleküllü insülin taklit edicileri veya insülin arttırıcılar olarak test edilen vanadyum bileşikleri arasında, bis(maltolato)oksovanadyum(IV), $(\text{V}^{\text{IV}}\text{O}(\text{maltolato})_2)(\text{BMOV})$ ve bis(etilmaltolato)oksovanadyum(IV), $(\text{V}^{\text{IV}}\text{O}(\text{etmaltolato})_2)(\text{BEOV})$, kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Pessoa ve ark., 2015). Sadece BEOV bileşiği insanlar üzerinde test edilmiş, faz I klinik denemesi 2000 yılında tamamlanmıştır ve faz IIa klinik araştırmasının sonuçları ise ilk olarak 2009'da yayınlanmıştır. Gastrointestinal ortamdaki düşük stabilite ve olumsuz farmakokinetikler nedeniyle çalışmalar durdurulmuştur (Sanna ve ark., 2017).

Trevino ve ark. (2016), tip 1 ve tip 2 diyabetli erkek sıçanlar üzerinde yaptığı deneylerde, hipoglisemik ve hipolipidemik bir bileşik olan metforminyum dekavanadat (MetfDeca) $(\text{H}_2\text{Metf})_3[\text{V}_{10}\text{O}_{28}]$ üzerinde çalışmışlar ve bu bileşiğin, DM tip 1 sıçanlarının pankreas β -hücreleri üzerinde koruma sağladığını kanıtlamışlardır. Böylece insülin seviyelerini geri kazanarak bu hücrelerde olası bir yenilenme önerilmiş, MetfDeca bileşiğinin yalnızca bir insülin taklitçisi değil, aynı zamanda bir insülin arttırıcı ajan olması da düşünülmüştür (Trevino ve ark., 2016).

Başka bir çalışmada, kemirgen adipositlerindeki yeni bir insülin taklit edici bileşik olan hezkakis (benzilamonyum) dekavanadat $(\text{C}_7\text{NH}_{10})_6(\text{V}_{10}\text{O}_{28})$ insülin reseptörü ve fosfataz inhibisyonu yoluyla

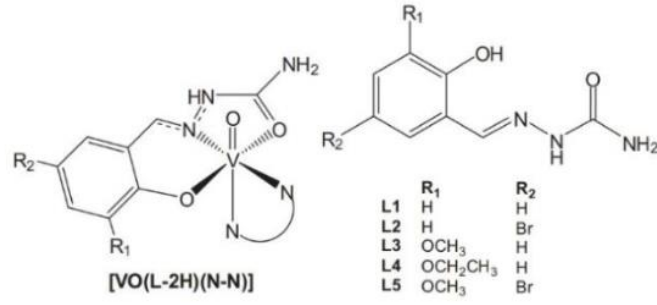
insülin miktarını azalttığı ve böylece insülinin tamamen yokluğunda glukoz taşınmasını aktive ettiği bildirilmiştir (Yraola ve ark., 2007; Zorzano ve ark., 2009).

Tip 2 diyabetli hastaların %40'ından fazlasında tedavilerinin bir parçası olarak insülin enjeksiyonlarına ihtiyaç duyulur. Tip 1 diyabet ise, sadece 51 amino asitten oluşan doğal bir peptid (protein) hormonu olan insülin ile tedavi edilebilir. Peptitlerin gastrointestinal kanaldaki bozunmalarından dolayı ağızdan alınamamaktadır, bu yüzden insülin, enjeksiyon ile verilmektedir. Bu ağırlı ve pahalı tedavi, ağızdan alınabilen bir insülin taklitçisi ile değiştirilebilir düşüncesiyle, Patel ve ark. (2019), biyo-mimetik aktiviteyi kapsüllemek için birkaç vanadyum kompleksi tasarlamış ve sentezlemiştir. Çalışmada 4 adet vanadyum kompleksi sentezlenmiştir: $[VO(L^1)(H_2O)]NO_3$ **1**, $[VO(L^2)(H_2O)]NO_3$ **2**, $[VO(L^2)(ImH)_2]SO_4 \cdot H_2O$ **3** ve $[VO(L^1)ImH]NO_3$ **4**. Burada ligand olarak kullanılan HL^1 ; Asetik asit (2-hidroksi-3-metoksi-benziliden)-hidrazid ve HL^2 ; 5-bromo-2-[(E)-(piridin-2-ilhidrazono)metil]fenol'dür. Çalışmada sentezlenen komplekslerin anti-diyabetik aktivitelerini belirlemek için α -glukozidaz ve α -amilaz inhibisyon aktivitelerine bakılmıştır. Tüm kompleksler, konsantrasyona bağlı aktivite göstermiş, test numunelerinin konsantrasyonunun artmasında daha fazla α -amilaz enzimi inhibisyonu görülmüştür (Patel ve ark., 2019).

1.2. Anti-Viral, Anti-Parazitik, Anti-Bakteriyel Vanadyum Bileşikleri

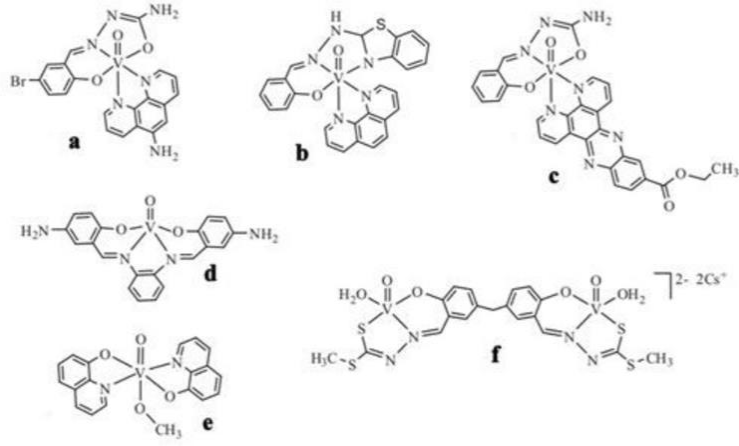
Son yıllarda, çoğunlukla Hindistan, Güney ve Orta Amerika gibi tropikal ülkelerdeki çeşitli araştırma grupları, *in vitro* deneylerde parazitlerin neden olduğu tropikal hastalıkların (Chagas hastalığı, uyku hastalığı, leishmaniasis ve amebiasis gibi) tedavisinde etkili bazı vanadyum bazlı ilaçlar geliştirmiştir. Kamçılıların neden olduğu tropikal hastalıkların, yani *trypansomiasis* (Chagas hastalığı) ve *leishmaniasis* (çeçe sineği ve tatarcık tarafından yayılan) tedavisinde de vanadyum kompleksleri kullanılmıştır. Bakteriyel ve viral enfeksiyonlar da vanadyum bazlı bileşikler ile tedavi edilmiştir (Rehder, 2018).

Anti-*T. cruzi* ajanları ile ilgili olarak, daha fazla ilaç geliştirmek ve prospektif antitripanozomal bileşikler rasyonel bir şekilde tasarlamak için araştırmalar yapılmıştır. Araştırmada, DNA ara katmanlama kapasitesi taşıyan polipiridil ligandları (NN) dahil olmak üzere iki $V^{IV}O$ bileşiğinden yararlanılmıştır. Yapısal olarak iki bileşik ailesi sentezlenmiş, karakterize edilmiş ve parazit üzerinde değerlendirilmiştir: $[V^{IV}O(SO_4)(H_2O)_2(NN)]$ ve $[V^{IV}O(L-2H)(NN)]^5$. NN ligandlarının parazit üzerinde aktivite gösterdiği ortaya koyulmuştur. Daha büyük bir heteroleptik biyoaktif $[V^{IV}O(L-2H)(NN)]$ serisi, NN'nin bipy, dppz, phen, epoksifen veya aminofen olduğu üç dişli salisilaldehit semikarbazon türevleridir (Şekil 2). Aktivite sıralaması $[V^{IV}O(L-2H)(bipy)] < [V^{IV}O(L-2H)(dppz)] < [V^{IV}O(L-2H)(phen)] < [V^{IV}O(L-2H)(epoksifen)] < [V^{IV}O(L-2H)(aminofen)]$, şeklinde belirlenmiştir. Parazit için en çok sitotoksisiteyi, aminofen ve epoksifen'e sahip DNA modifiye edici ko-ligandlarla kompleksler göstermiştir (Pessoa ve ark., 2015).



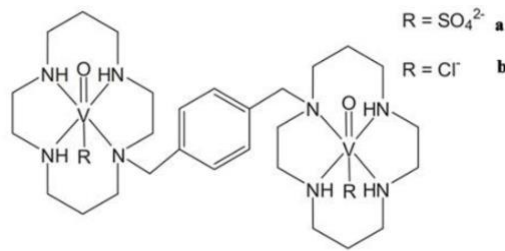
Şekil 2. [V^{IV}O(L-2H)(NN)] bileşiklerinde ko-ligand olarak seçilen üç dişli salisilaldehit semikarbazon türevleri (Pessoa ve ark., 2015)

Bir azin (salisilaldehit-semikarbazon) ve bir o-fenantrolin ligand içeren oksidovanadyum (IV) kompleksi, *tripanozomiyaza* (Chagas hastalığı) neden olan *Trypanosoma cruzi*'nin epimastigot durumuna karşı aktiftir (Şekil 3a) (Fernández ve ark., 2013). Benzer şekilde Şekil 3b, antitripanozomal aktivite sergiler, ayrıca bu kompleks, yumurtalık, meme ve prostat tümörlerine karşı da aktiftir. Başka bir *Trypanosoma* türü, Afrika *tripanozomiyazından* (uyku hastalığı) sorumlu olan *T. brucei brucei*, genellikle çebe sineğinin ısırmasıyla bulaşır. Yine bir azin sistemi ve ek olarak o-fenantrolinden türetilmiş bir ligand içeren kompleks, organizmanın plazmit DNA'sı ile etkileşime girerek *Tripanozoma* karşı aktivite göstermiştir (Şekil 3c) (Fernández ve ark., 2013). Ligand asetaminosalol (salofen) içeren kompleks, *leishmaniasis*'den sorumlu olan *L. tropica* gibi *leishmania* parazitinin farklı türlerine karşı aktiftir (Şekil 3d). Antimon bileşikleriyle yaygın olarak tedavi edilen bu tropikal hastalığın vektörleri, kum sinekleri; birincil semptomları ise cilt ülserleridir. Şekil 3d'nin aktivitesi, mitokondriyal disfonksiyon ve reaktif oksijen türlerinin indüksiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Ligand 8-oksikinolin (1⁻) içeren kompleks, yumurtalık adenokarsinom hücrelerine karşı umut verici yanıtın yanı sıra, tüberküloz patojeni *Mycobacterium tuberculosis*'e karşı biyolojik aktivite gösteren bir oksidovanadyum (V) kompleksidir (Şekil 3e) (Correia ve ark., 2014). Metilen-bis (salisilaldehit) ve S-metildithiokarbazattan türetilen bir tris (bidentat) ligand içeren anyonik oksidovanadyum (V) kompleksi, *Entamoeba histolytica*'ya karşı oldukça etkilidir ve bu nedenle amoebiasis tedavisi için umut verici bir ilaçtır (Şekil 3f). Genellikle uygun olmayan temizlik önlemleriyle ilişkilendirilen amipiyaz, dünya çapında yaygın bir bulaşıcı hastalıktır (Rehder, 2017).



Şekil 3. Parazitik ve bakteriyel hastalıklara karşı yüksek *in vitro/in vivo* aktivite gösteren vanadyum kompleksleri (Rehder, 2017) (a ve b, Chagas hastalığı (*Trypanosoma cruzi*); c, uyku hastalığı (Afrika tripanosomiasisi) (*Trypanosoma brucei brucei*); d, leishmaniasis (*Leishmania tropica* ve diğer *Leishmania* türleri); e, tüberküloz (*Mycobacterium tuberculosis*); f, amoebiasis (*Entamoeba histolytica*))

Vanadyum bileşiklerinin insan bağışıklık yetersizliği virüsü (HIV) üzerindeki etkisi Sun ve ark. (2007) tarafından gözden geçirilmiştir. Çalışmalar, vanadyum-tiyüre komplekslerinin ve vanadyum bağlı polioksotungstatların $[(V^{IV}O)_2(V^VO)(SbW_9O_{33})_2]^{11-}$, T-hücrelerine karşı güçlü anti-HIV özellikleri sergilediğini göstermiştir. Özellikle, vanadyum bağlı polioksidotungstat, sadece *in vitro* HIV-1'e karşı değil, aynı zamanda influenzaya, Dang hummasına ve SARS'a (şiddetli akut solunum sendromu) neden olan virüslere karşı antiviral aktivite sergilemiştir (Shigeta ve ark., 2003; Yamase ve ark., 2004). Oksidovanadyum (IV) siklam kompleksleri de potansiyel anti-HIV ajanları olarak geliştirilmiştir. Ksililbisiklam kompleksleri, HIV-1 (IIIB) ve HIV-2 (ROD) hatlarına karşı oldukça aktiftir (IC_{50} değerleri, a için 1-5 μM ve b için 0,1-0,3 μM aralığında) (Şekil 4a-b) (Ross ve ark., 2010). Komplekslerin HIV'in, antiviral etki mekanizması olarak kemokin reseptörü tip 4 (CXCR-4) olarak adlandırılan T lenfositleri enfekte etmek için kullanabileceği bir reseptör proteinine bağlandığı düşünülmüştür (Pessoa ve ark., 2015).



Şekil 4. $V^{IV}O$ - ksililbisiklam anti-HIV bileşikleri (Pessoa ve ark., 2015)

1.3. Vanadyumun Kardiyovasküler Sistemdeki Etkileri

Birçok çalışmanın sonucunda, vanadyum bileşiklerinin hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda sıçan kardiyomiyositleri üzerindeki sitoprotektif etkisi belirlenmiştir. Vanadyum kalp kası gevşemesine neden olabilir. Hipoksi toleransını artırmaya yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, vanadyum bileşikleri plazma trigliseritlerinde azalmaya katkı sağlamıştır ve hipertansiyon-koroner kalp hastalığının gelişimini de önlediği bulunmuştur. Öte yandan, vanadyum bileşikleri, Na⁺-K⁺-ATPaz inhibisyonu ve hücre içi kalsiyum iyonlarının artması yoluyla, vasküler düz kasın vazokonstriktif özelliklerini modüle etmiştir. Bunun da yüksek tansiyon oluşumuna neden olabileceği görülmüştür. Vanadyumun vazokonstriktif etkisinin altında yatan mekanizma, miyozin hafif zincirlerinin kalmoduline bağlı fosforilasyon olarak belirlenmiştir (Gruzewska ve ark., 2014).

Farklı diyabetik kardiyomiyopati modellerinde, V ile tedavi, umut verici sonuçlar vermesine rağmen, insan kardiyovasküler hastalıklarının tedavisinde bu bulgular henüz görülmemiştir. Vanadyumun klinik kullanımını, özellikle biyoyararlanımı ve toksisiteyi içeren farmakolojik faktörler olmak üzere birçok faktörün etkileyebileceği düşünülmüştür (Panchal ve ark., 2017).

1.4. Vanadyumun İmmün Sistemdeki Etkileri

Vanadyum bazlı ilaçlar, bağışıklık sistemi modülatörleri ve diğer transkripsiyon faktörleri ile etkileşime girerek, bağışıklığı yeniden duyarlılaştırma potansiyeline sahiptir. Düşük doz V, bağışıklık sistemi üzerinde olumlu bir uyarıcı etkiye sahiptir. Daha düşük dozlarda V, hem humoral hem de hücrel aktiviteyi etkileyerek hayvanlarda bağışıklık sistemini düzenler (Tsavre ve ark., 2016). Vanadyum, bağışıklıkta merkezi bir rol oynayan ve hücre yüzeylerinde bir T hücre reseptörünün (TCR) varlığı ile karakterize edilen T lenfositlerini de aktive eder. Ayrıca nötrofiller, makrofajlar, bazofiller ve epitel hücreleri gibi bağışıklık sisteminin hücreleriyle prooksidatif olarak etkileşime girdiği de bulunmuştur (Malissen ve ark., 2014; Theron ve ark., 2011).

1.5. Vanadyum Maruziyeti ve Toksisitesi

Çin'de Lv ve ark., (2021) yapmış oldukları çalışmada, diabetes mellitus tip 2 (DM tip 2) riskinin tek metale maruz kalma ile çoklu metale birlikte maruz kalma ilişkisini araştırmayı amaçlamışlardır. 223 DM tip 2 hastası ve 302 kontrol ile bir vaka-kontrol çalışması yapılmıştır. DM tip 2 grubundaki serum Baryum (Ba), Kalsiyum (Ca), Demir (Fe), Selenyum (Se) ve Stronsiyum (Sr) konsantrasyonları kontrol grubuna göre daha yüksek bulunurken; V, kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Yüksek V seviyesinin, azalmış DM tip 2 riski ile ilişkili olduğunu ($p<0,001$) ve serum V konsantrasyonlarının, DM tip 2 riskiyle doğrusal olmayan bir şekilde ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Çalışma sonucunda, yüksek serum Ca ve Se düzeyleri, artmış DM tip 2 riski ile ilişkili olup, yüksek serum V düzeyleri ise, azalmış DM tip 2 riskiyle ilişkilidir (Lv ve ark., 2021).

Vanadyuma aşırı maruz kalma, erkek üreme sistemi de dahil olmak üzere hem hayvanlarda hem de insanlarda dokuların fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Yapılan

çalışmalarda, vanadyum maruziyetinin aşırı oksidatif stres üreterek, erkek üreme sisteminde toksisiteye neden olduğu belirlenmiştir. Testis ağırlığında, sperm hareketliliğinde, sperm sayısında ve testosteron salgısında azalma ve anormal spermatozoa yüzdesinde artış ortaya çıktığını göstermiştir. Üriner atılım, insan vücudundan vanadyum için birincil eliminasyon yoludur, bu nedenle, üriner ölçümler maruziyet biyobelirteçleri olarak yaygın şekilde kullanılmıştır. Vanadyumun, maruz kaldıktan sonra sıçan testislerinde biriktiği ve daha sonra kararlı bir duruma ulaştığı bildirilmiştir, bu da seminal plazmadaki vanadyum konsantrasyonlarının, kronik vanadyum maruziyetinin güvenilir biyolojik belirteçleri olabileceğini göstermiştir (Wang ve ark., 2018).

Doğum başlamadan önce spontan membran rüptürü olarak tanımlanan erken membran rüptürü (PROM), intrauterin içeriğin ve fetüsün bakteri istilasından korunmaması nedeniyle hem maternal hem de fetal enfeksiyon için daha büyük risklere neden olur. PROM, hamile kadınlarda erken doğum eylemini tetikleyen önemli bir faktördür. 37. gebelik haftasından önce membran rüptürünün meydana gelmesi preterm PROM olarak kabul edilir. Hamile kadınların daha yüksek metal seviyelere maruz kalmasının PROM veya preterm PROM riskini artırabileceği de düşünölmüştür. Jin ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, V, Krom (Cr), Manganez (Mn), Kobalt (Co), Bakır (Cu), Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb), Alüminyum (Al), Nikel (Ni), Selenyum (Se) ve Talyum (Tl) dahil olmak üzere hamilelerin metallere maruz kalma düzeylerini incelemek için, Çin’de 7290 gebe kadının doğumdan itibaren üriner metaller ile PROM arasındaki ilişkisi araştırılmıştır. Hem PROM hem de preterm PROM ile artan üriner V düzeylerinin pozitif ilişkileri gözlenmiştir. Bulgulara göre de Çin’in kentsel alanlarında hamile kadınların V’ye maruz kalması, PROM veya preterm PROM için bir risk faktörü olabileceği görölmüş, vanadyum kirliliğinin kontrolüne daha fazla dikkat edilmesi gerektiği önerilmiştir (Jin ve ark., 2018).

Yüksek konsantrasyonlarda vanadyum bileşikleri, oksidatif fosforilasyon dahil birçok enzimin inhibisyonunda toksik özellikler göstermiştir. Yapılan çalışmalar, toksik etkinin bileşiklere, doza, uygulama zamanına ve vanadyum iyonlarının oksidasyon derecesine bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. İnsanlarda solunum ve sindirim sistemini etkileyen, kalp çarpıntısı, yorgunluk, depresyon, parmaklarda ve ellerde titreme ve karakteristik bir yeşil dil oluşturan vanadata bağlı akut veya kronik zehirlenme görölmüştür (Gruzewska ve ark., 2014).

Vanadyumun sistemik toksisitesi, oksidatif metabolizma bozukluğuna, enzim zincirlerinin ve hücrelerde solunum süreçlerinin baskılanmasına yol açmıştır. Yüksek dozlarda vanadyum bileşiklerine maruz kalma, kardiyovasküler sistem üzerinde toksik bir etki yaratmış, karaciğerin işlevini bozmuş ve ishal-kusma gibi gastrointestinal semptomlara neden olarak sıvı ve gıda alımının azalmasına, dehidrasyona ve kilo kaybına neden olmuştur (Boulassel ve ark., 2011). Ayrıca, *in vitro* çalışmalar, yüksek doz vanadyumun, hematopoezde değişiklikleri başlatabildiğini, nefrotoksik, teratojenik ve hepatotoksik aktivite gösterebildiğini, lipid peroksidasyonunu indüklediğini ve solunum sisteminde dejeneratif değişikliklere neden olabileceğini göstermiştir. Vanadyum bileşikleri, mitokondride oksidatif strese ve böylece protein tirozin fosforilasyonunun (PTP) açılmasına neden olmuş, bu da

mitokondriyal transmembran potansiyelinin (DWm) çökmesine ve sıçan karaciğerlerinde hücre apoptozunun başlaması olarak sitokrom c (Cyt c) salımına yol açmıştır (Tripathi ve ark., 2018). Bu nedenle, çalışmalarda, dekavanadat daha güçlü bir mitokondriyal depolarizasyon ajanı ve monomerik vanadattan daha güçlü bir mitokondriyal oksijen tüketimi inhibitörüdür (Soares ve ark., 2007). Kronik olarak vanadyuma maruz kalan bireyler üzerinde yapılan araştırmalar, kan morfolojisinde, enzimlerin aktivitesinde veya diğer biyokimyasal parametrelerde, vanadyum ve türevlerinin kandan dokulara hızlı taşınmasından kaynaklanabilecek herhangi bir değişiklik göstermemiştir. Önemli olarak, tip 1 ve tip 2 diyabetli hastalar üzerinde yapılan klinik çalışmalarda, oral dozlarda vanadil sülfat (100-150 mg/dl) ve sodyum metavanadat (125 mg/dl) (iki-altı haftalık periyotlarda), hastaların çoğunda geçici gastrointestinal rahatsızlık meydana getirmiştir (Gruzewska ve ark., 2014). Vanadyum klorür, vanadil sülfat, metavanadat ve ortovanadat dahil olmak üzere V tuzlarının, insanlarda kırmızı kan hücrelerinin (RBC) sayısını önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Yüksek dozlarda uygulandığında, eritrosit membranlarında hemoliz ve kısa RBC sağkalımı görülmüştür (Suwalsky ve ark., 2012; Suwalsky ve ark., 2013).

2. Sonuç

Sonuç olarak, birçok yayında bildirildiği üzere vanadyum bileşikleri, parazitlerin neden olduğu hastalıkların tedavisinde anti-viral ve anti-bakteriyel ajan, kalp performansını iyileştirme, diyabet ve kanser gibi çeşitli durumlarda terapötik kullanımı önerilmiştir. Amoebiasis veya Chagas gibi parazitik hastalık patojenlerinin şu anda kullanılan tedavilere karşı yetersizliği veya artan direnci, ayrıca vanadyum bazlı ilaçların potansiyel olarak daha düşük maliyetli olmaları, vanadyum bileşiklerinin bu alanlarda umut verici olduğunu göstermektedir. Tüm bu hastalıklar için vanadyum bileşikleri önerilmiş olsa da hem uygun doz hem de toksisite sorunları göz önünde bulundurulmalıdır. Vanadyum bileşiklerinin-özellikle uzun süreli uygulama gerekiyse- bağışıklık sistemi ve inflamatuvar reaksiyonlar üzerindeki etkileri hala net değildir.

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

- Boulassel B., Sadeg N., Roussel O., Perrin M., Belhadj-Tahar H. Fatal poisoning by vanadium. *Forensic Science International* 2011; 206(1-3): 79-81.
- Cavan D., Rocha Fernandes J., Makaroff L., Ogurtsova K., Webber S. IDF Diabetes Atlas. *International Diabetes Federation* 2015, 7thed., p.13.

- Correia I., Adão P., Roy S., Wahba M., Matos C., Maurya MR., Marques F., Pavan FR., Leite CQF., Avecilla F., Costa Pessoa J. Hydroxyquinoline derived vanadium (IV-V) and copper (II) complexes as potential anti-tuberculosis and anti-tumor agents. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2014; 141: 83-93.
- Fernández M., Varela J., Correia I., Birriel E., Castiglioni J., Moreno V., Costa Pessoa J., Cerecetto H., González M., Gambino D. A new series of heteroleptic oxidovanadium (IV) compounds with phenanthroline- derived co-ligands: selective *Trypanosoma cruzi* growth inhibitors. *Dalton Trans* 2013; 42(33): 11900-11911.
- Fernández M., Becco L., Correia I., Benítez J., Piro OE., Echeverria GA., Medeiros A., Comini M., Lavaggi ML., González M., Cerecetto H., Moreno V., Pessoa JC., Garat B., Gambino D. Oxidovanadium(IV) and dioxidovanadium (V) complexes of tridentate salicylaldehyde semicarbazones: searching for prospective antitrypanosomal agents. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2013; 127: 150-160.
- Gruzewska K., Michno A., Pawelczyk T., Bielarczyk H. Essentiality and toxicity of vanadium supplements in health and pathology. *Journal of Physiology and Pharmacology* 2014; 65(5): 603-611.
- Jakusch T., Kiss T. In vitro study of the antidiabetic behavior of vanadium compounds. *Coordination Chemistry Reviews* 2017; 351: 118-126.
- Jin S., Xia W., Jiang Y., Sun X., Huang S., Zhang B., Zhou A., Zheng T., Xu S., Li Y. Urinary vanadium concentration in relation to premature rupture of membranes: A birth cohort study. *Chemosphere* 2018; 210: 1035-1041.
- Levine R., Goldstein M. The action of insulin on the distribution of galactose in eviscerated nephrectomized dogs. *Journal of Biological Chemistry* 1949; 179(2): 985.
- Lv Y., Xie L., Dong C., Yang R., Long T., Yang H., Chen L., Zhang L., Chen X., Luo X., Huang S., Yang X., Lin R., Zhang H. Co-exposure of serum calcium, selenium and vanadium is nonlinearly associated with increased risk of type 2 diabetes mellitus in a Chinese population. *Chemosphere* 2021; 263: 128021.
- Malissen B., Grégoire C., Malissen M., Roncagalli R. Integrative biology of T cell activation. *Nature Immunology* 2014; 15(9): 790-797.
- Panchal SK., Wanyonyi S., Brown L. Selenium, vanadium, and chromium as micronutrients to improve metabolic syndrome. *Current Hypertension Reports* 2017; 19(3): 10.
- Patel N., Prajapati AK., Jadeja RN., Patel RN., Patel SK., Gupta VK., Tripathi IP., Dwivedi N. Model investigations for vanadium-protein interactions: Synthesis, characterization and antidiabetic properties. *Inorganica Chimica Acta* 2019; 493: 20-28.
- Pessoa JC., Etcheverry S., Gambino D. Vanadium compounds in medicine. *Coord. Chem. Rev.* 2015; 301(302): 24-48.

- Rehder D. Implications of vanadium in technical applications and pharmaceutical issues, *Inorganica Chimica Acta Part 2* 2017; 455: 378-389.
- Rehder D. Vanadium in health issues. *ChemTexts* 2018; 4: 20.
- Ross A., Soares DC., Covelli DS., Pannecouque C., Budd LE., Collins A., Robertson N., Parsons S., De Clercq E., Kennepohl P., Sadler PJ. Oxovanadium (IV) cyclam and bicyclam complexes: potential CXCR4 receptor antagonists. *Inorganic Chemistry* 2010; 493: 1122-1132.
- Sanna D., Ugone V., Serra M., Garribba E. Speciation of potential anti-diabetic vanadium complexes in real serum samples. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2017; 173: 52-65.
- Shigeta S., Mori S., Kodama E., Kodama J., Takahashi K., Yamase T. Broad spectrum anti-RNA virus activities of titanium and vanadium substituted polyoxotungstates. *Antiviral Research* 2003; 58(3): 265-271.
- Soares SS., Gutiérrez-Merino C., Aureliano M. Decavanadate induces mitochondrial membrane depolarization and inhibits oxygen consumption. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2007; 101(5): 789-796.
- Sun RW., Ma DL., Wong EL., Che CM. Some uses of transition metal complexes as anti-cancer and anti-HIV agents. *Dalton Transactions* 2007; 21(43): 4884-4892.
- Suwalsky M., Fierro P., Villena F., Aguilar LF., Sotomayor CP., Jemiola-Rzeminska M., Strzalka K., Gul-Hinc S., Ronowska A., Szutowicz A. Human erythrocytes and neuroblastoma cells are in vitro affected by sodium orthovanadate. *Biochimica et Biophysica Acta* 2012 Sep;1818(9): 2260-2270. doi: 10.1016/j.bbame.2012.04.012.
- Suwalsky M., Fierro P., Villena F., Gallardo MJ., Jemiola-Rzeminska M., Strzalka K., Gul-Hinc S., Ronowska A., Zysk M., Szutowicz A. Effects of sodium metavanadate on in vitro neuroblastoma and red blood cells. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 2013; 535(2): 248-256.
- Theron AJ., Tintinger GR., Anderson R. Harmful interactions of non-essential heavy metals with cells of the innate immune system. *Journal of toxicology. Clinical Toxicology* 2011; 2013: 1-10.
- Trevino S., Velazquez-Vazquez D., Sanchez-Lara E., Diaz-Fonseca A., Flores-Hernandez JA., Perez-Benítez A., Brambila-Colombres E., Gonzalez-Vergara E. Metforminium decavanadate as a potential metallopharmaceutical drug for the treatment of diabetes mellitus. *OxiMed & Cellular Longevity* 2016.
- Tripathi D., Mani V., Pal RP. Vanadium in biosphere and its role in biological processes. *Biological Trace Element Research* 2018; 186: 52-67.
- Tsave O., Petanidis S., Kioseoglou E., Yavropoulou MP., Yovos JG., Anestakis D., Tsepa A., Salifoglou A. Role of vanadium in cellular and molecular immunology: Association with immune-related inflammation and pharmacotoxicology mechanisms. *OxiMed & Cellular Longevity* 2016; 401: 36-39.

- Yamase T., Ishikawa E., Fukaya K., Nojiri H., Taniguchi T., Atake T. Spin-frustrated (VO)₃⁺-triangle sandwiching octadecatungstates as a new class of molecular magnets. *Inorganic Chemistry* 2004; 43(25): 8150-8157.
- Yraola F., García-Vicente S., Marti L., Albericio F., Zorzano A., Royo M. Understanding the mechanism of action of the novel SSAO substrate (C₇NH₁₀)₆(V₁₀O₂₈)₂H₂O, a prodrug of peroxovanadate insulin mimetics. *Chemical Biology & Drug Design* 2007; 69: 423–428.
- Yu YQ., Yang JY. Oral bioaccessibility and health risk assessment of vanadium (IV) and vanadium (V) in a vanadium titanomagnetite mining region by a whole digestive system in-vitro method (WDSM). *Chemosphere* 2019; 215: 294-304.
- Zorzano A., Palacín M., Marti L., García-Vicente S. Arylalkylamine vanadium salts as new anti-diabetic compounds. *Journal of Inorganic Biochemistry* 2009; 103: 559–566.
- Wang YX., Chen HG., Li XD., Chen YJ., Liu C., Feng W., Zeng Q., Wang P., Pan A., Lu WQ. Concentrations of vanadium in urine and seminal plasma in relation to semen quality parameters, spermatozoa DNA damage and serum hormone levels. *Science of the Total Environment* 2018; 645: 441-448.

Likenaz ve Laminarinaz Enzimlerini Üreten *Bacillus* Suşlarının Balık Yem Katkısı Olarak Kullanımı

Makbule BAYLAN^{1*}, Gamze MAZI²

^{1,2}Department of Basic Science, Faculty of Fisheries, Cukurova University, 01250, Adana, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-0549-0662>

²<https://orcid.org/0000-0002-3160-2480>

*Corresponding author: e-mail: makyan@cu.edu.tr

Derleme

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.04.2022

Kabul tarihi: 05.07.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Bacillus subtilis

Likenaz

Laminarinaz

Klonlama

Rekombinant enzim teknolojisi

Hayvanlardan yüksek verim elde etmek için hayvan sağlığını korumanın yanında yemden yararlanma yeteneğini de üst düzeye çıkarmak gerekmektedir. Bu yöndeki önemli uygulamalardan biri yem katkı maddeleridir. Yem katkı maddeleri balık üretimini ve refah düzeyini yükselten, sindirimi ve sindirim sistemi mikroflorasını iyileştiren, besin maddelerinin ve yemin korunmasına katkıda bulunan, bitkisel ve hayvansal ürünler ile mikroorganizmalardır. Her ne kadar enzim üretiminde bitkisel ve hayvansal dokular kullanılsa da, enzim üretiminde mikroorganizmaların kullanımı ilk sıralardadır. Moleküler genetik tekniklerinin kullanılmaya başlamasından sonra enzim üretiminde sorumlu genler mikroorganizmalarda klonlanarak, enzimlerin endüstriyel boyutta daha saf ve daha ucuz bir şekilde üretilmeleri mümkün hale gelmiştir. Balıklarda bağışıklık sistemini desteklemek, mortaliteyi azaltmak, büyüme performansında artış ve hastalıklara karşı dirençli olmalarını sağlamak için bu enzimleri üreten *Bacillus* suşlarını yem katkısı olarak kullanmak iyi bir alternatiftir. Bu derlemede balık yemlerinde kullanılan likenaz ve laminarinaz enzimleri ve bu enzimleri üreten *Bacillus* suşları ile yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Use of *Bacillus* Strains Producing Lichenase and Laminarinase Enzyme as Fish Feed Additives

Review Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.04.2022

Accepted: 05.07.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Bacillus subtilis

Lichenase

Laminarinase

Cloning

Recombinant enzyme technology

To obtain high efficiency from animals, it is necessary to maximize the ability to benefit from feed and to protect animal health. One of the important applications in this direction is feed additives. Feed additives are plant and animal products and microorganisms that increase fish production and welfare, improve digestion and digestive system microflora and contribute to preserving nutrients and feed. Although plant and animal tissues are used in enzyme production, the use of microorganisms is in the first place. After using of molecular genetic techniques, the genes responsible for enzyme production were cloned in microorganisms, making it possible to produce enzymes more purely and cheaply on an industrial scale. It is a good alternative to use *Bacillus* strains that produce these enzymes as feed additives to support the immune system, reduce mortality, increase growth performance and provide resistance against diseases in fish. In this review, lichenase and laminarinase enzymes used in fish feeds and studies with *Bacillus* strains producing these enzymes were examined.

To Cite: Baylan M., Mazi G. Use of *Bacillus* Strains Producing Lichenase and Laminarinase Enzyme as Fish Feed Additives. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1855-1871.

Introduction

As in all animal husbandry, feed is the most critical input affecting productivity and cost in fish farming. In feeds, feed raw materials containing high protein levels are heavily added to the feed content. Fish meal is an indispensable protein source in the aquaculture feed industry because it contains high protein and balanced amino acid components. However, in recent years, due to the decrease in fish stocks in our country's seas and its use in human nutrition, fishmeal production has decreased considerably and feed producers have found the solution to import fishmeal from other countries. Therefore, fish meal prices have increased feed costs and brought the use of plant resources to the agenda.

From a cost point of view, adding enzymes to the feed brings a meager cost. The price of commercial feed enzymes is around 3-4 Euros/kg. Since enzymes are used at the level of 1-2% in feeds, it reflects a very low cost (Yiğit and Koca, 2011).

When essential nutrients such as water, oil, carbohydrates, protein, minerals and vitamins are added to the feed under normal growing conditions, it ensures that the nutrients in the feed reach the animals without deterioration and that the feed is digested more quickly and that it is absorbed from the intestines and transported to the body cells, and increases the amount and/or quality of the product, substances that increase feed efficiency, provide economic benefits and are generally referred to as "Feed Additives" are among the most discussed and researched subjects in recent years (Kutlu and Çelik, 2005).

In addition, until recently, it has become almost a necessity in the livestock industry, and antibiotics have been used in the poultry industry for many years to stimulate growth and promote development. Antibiotics; are chemical substances produced by microorganisms such as bacteria and fungi and protect their environment from the effects of harmful microorganisms. For many years, antibiotics have been used as feed additives to improve growth and feed efficiency as well as to treat infections. Animals with antibiotics added to their feed consume less feed than usual to reach the expected growth level (Chattopadhyay, 2014). Therefore, it significantly reduces the cost of feed, which constitutes a large part of animal breeding costs. Antibiotics added to the feed also enable more efficient conversion of feed into animal product.

It is observed that the daily growth rate of animals fed with antibiotic feed fortified foods increases by 1-10% compared to animals fed with feed-fortified foods without antibiotics (Hughes and Heritage, 2002). However, antibiotics used in feed prevent the growth of beneficial microorganisms along with pathogenic bacteria in the intestines. In addition, since resistance to these antibiotics will be gained over time, the effects of beneficial microorganisms will decrease. Moreover, it destroys the intestinal flora, delays its healing, and often causes pathogenic bacteria to become dominant in the intestinal mucosa (Rosen, 1995). Antibiotic residues, a common problem as a natural consequence of antibiotic use, also seriously threaten human health (Prescott et al., 1999). Due to these drawbacks, the use of antibiotics in feeds has been entirely banned by the European Union due to the concern that it may

cause bacterial resistance and threaten human health by leaving residues in the animal by products (Dafwang et al., 1984; Aydın and Koçak, 1999; Demirel and Gürbüz, 1999; Keser and Bilal, 2008; Adıyaman and Ayhan, 2010; Chattopadhyay, 2014; Ng and Koh, 2017).

With this ban, studies on the development of feed additives to protect the health of the digestive system ecology, control bacterial diseases and strengthen the immune system of animals gained momentum. Studies conducted in this direction show that enzymes can be used as feed additives (Alp and Kahraman, 1996; Buchanan et al., 1997; Cavazzoni et al., 1998; Erdogan, 1999; Nir and Şenköylü, 2000; Çiftçi, 2001; Sullivan and Nord, 2002 ; Karademir and Karademir, 2003; Drew et al., 2005; Kutlu and Serbester, 2014; Yıldırım et al., 2014).

Among them, various enzymes such as protease, glucanase, lichenase, cellulase, pectinase, amylase, phytase, and lipase are frequently used in the feed industry by adding to mixed feeds as single or enzyme complexes. With the use of enzymes, the digestibility of the feeds and the feed efficiency of the animals increase (Karademir and Karademir, 2003). In this context, studies on probiotics, prebiotics, organic acids, antimicrobial and antioxidant effective herbal extracts, enzymes and toxin binders are continuing (Kutlu and Serbester, 2014).

Advantages of Industrial Enzymes Used in Feeds

Enzymes are biomolecules produced by living cells in protein structure or partly protein. In addition, they are biological catalysts that serve in specific biochemical reactions and accelerate metabolic reactions.

Enzymes have been used in processes such as beverage, bread and cheese making without knowing their existence and function for thousands of years. Today, thousands of enzymes are consciously used for different purposes. Those used as feed additives are enzymes that fall under the hydrolase class.

Enzymes used as feed additives are of fungal and bacterial origin. Among them, various enzymes such as protease, glucanase, cellulase, pectinase, amylase, phytase and lipase are used alone or in combination in the feed industry by adding to mixed feeds (Yiğit and Koca, 2011).

Enzymes used in feeds break down starch, protein and fat and facilitate digestion. Thus, the degree of digestibility and feed efficiency of animals is increased (Karademir and Karademir, 2003). After it was understood that the adding of enzymes in the rations gave positive results, many studies were started on this subject (Deguara et al., 1999).

Although the serum immunoglobulin level of animals fed with glucan-containing feeds increases, they become more resistant to infectious diseases. However, the external addition of beta-glucan to fish feeds is costly and increases the cost of feed. Nowadays, with the introduction of modern production techniques, the enzyme industry has made significant progress in the last half-century. Parallel to this, enzyme biotechnology has made significant progress and enabled the production of industrially important enzymes in a more pure, cheap and abundant amount.

Although it is known that the enzymes used in the industrial field are of vegetable, animal and microorganism origin, they are mainly isolated from microorganisms. Because plant and animal enzymes can not meet the industrial needs. Therefore, the interest in this field has gradually led to microbial enzymes. This interest is because microbial enzymes do not form unwanted by products, have high catalytic activities, are more stable and cheaper, and are obtained in large sizes and in high purity (Wiseman, 1987; Horikoshi, 1999).

Today, more than 50% of industrial enzymes are produced from molds and yeasts and about 30% from bacteria. Enzymes of animal origin share 8% and enzymes of plant origin have a share of 4%. As can be seen, more than 90% of industrial enzymes originate from microorganisms, and this shows that microbial sources that are more suitable for genetic manipulation are preferred compared to animals and plants (Sutay Kocabaş, 2021).

Enzymes can be produced using wild-type or genetically modified microorganisms. The most commercially used microorganisms are *Aspergillus* (*A. niger*), *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*), *Mucor*, *Serratia*, *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, and *B. licheniformis*), *Lactobacillus* (*L. casei*, *L. acidophilus*, and *L. delbrueckii*), *Corynebacterium* (*C. glutamicum*) and *Rhizopus* (*R. oryzae*) can be given as examples (Srivastava, 2019).

The use of microorganisms at such a high rate in enzyme production has made the use of modified microorganisms widespread to increase production. For this purpose, recombinant strains have been developed using genetic engineering techniques and research in biotechnology on industrial enzymes has gained more importance.

Chemical Structure of Glucan

Glucans are glucose polymers obtained from the cell walls of yeast, bacteria and fungi, and grain feeds such as oat, barley and rye. Differences in the way these glucose polymers bond with each other give each glucan its structural changes. Differences in molecular weight, degree of branching, compatibility and intermolecular combinations are the factors that can affect the biological activity of glucan (Keser and Bilal, 2008). There are four types of β -glucans categories based on the type of the glycoside bond they cleave, namely, (1) β -(1,4)-glucanase (EC 3.2.1.4, carboxymethylcellulase), (2) β -(1,3)-glucanase (EC 3.2.1.39, laminarinase), (3) β -1,3(4)-glucanase (EC 3.2.1.6), (4) β -(1,3-1,4)-glucanase (EC 3.2.1.6, lichenase) (Goldenkova-Pavlova et al., 2018) (Figure 1). All of these can reduce β -(1,3-1,4)-glucanases, but there are differences in substrate specificity.

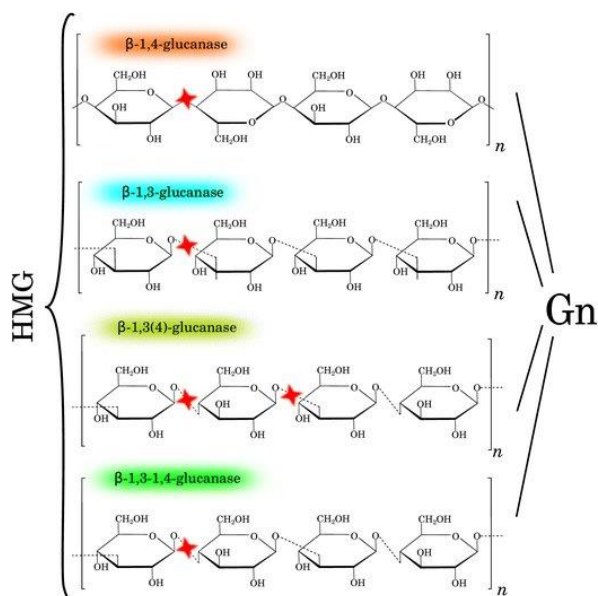


Figure 1. Structures of β -glucans with different type of the glycoside bond. The red tetragons are the cleavage sites of enzymes. *HMG*; high molecular weight β -Glucans, *Gn*; oligosaccharides with different degrees of polymerization (Goldenkova-Pavlova et al., 2018).

The glucans in the cell wall of yeast and fungi are composed of a few 1,6-linked branches and 1,3-linked glycopyranosyl residues. In contrast, oat and barley cell walls contain unbranched glucans containing 1,3- and 1,4-linked glycopyranosyl residues, while glucans of bacterial origin are composed of unbranched 1,3-linked glycopyranosyl residues (Keser and Bilal, 2008).

β -(1,3)-Glucanase (Laminarinase) Enzyme

β -(1,3)-Glucans are essential components of yeast, fungal cell wall and brown marine microalgae (*Laminaria* spp.). Bacterial β -(1,3)-glucanase belongs to the glycosyl hydrolase family 16 (GH 16). β -(1,3)-glucanase isolated from ATCC 21606 is classified in the glycosyl hydrolase 64 family (GH-64). β -(1,3)-glucanase isolated from DSM 10297 strain is classified in glycosyl hydrolase 16 family (GH-16). This situation significantly shows structural diversity expression (Saeki et al., 1994; Coutinho and Henrissat, 1999).

β -(1,3)-Glucans are potential and functional food ingredients because they are small soluble prebiotic substances. However, it is also produced as insoluble by some exopolysaccharide bacteria such as *Alcaligenes*, *Faecalis*, and *Myxogenes*.

Bacterial β -(1,3)-glucanases can be classified as exo- or endo-acting glucanases depending on where they cleave the substrate. Endo- β -(1,3)-glucanases play a major role in yeast cell lysis (Ferrer, 2006). The complex structure of the yeast cell wall consists of β -(1,3)-glucans, β -(1,6)-glucans, mannoproteins and chitins. These complex polymers are hydrolyzed as substrates of related enzymes.

Considering their physical properties the molecular masses of endo- β -(1,3)-glucanases are primarily between 30 and 50 kDa, although they range from 12 to 230 kDa (Usoltseva et al., 2020). Although the smallest molecular masses are between 12-16 kDa, it has a molecular weight of 12 kDa in *Citrus*

aurantiifolia from plants, 16 kDa in *Rhizoctonia solani* from pathogenic fungi, and 16 kDa in *Flavobacterium* sp. from bacteria (Manners and Wilson, 1973; Carrasco et al., 1983; Usui et al., 1985). The largest molecular masses are 230 kDa in fungi *Aspergillus nidulans*, 190-218 kDa in yeast *Saccharomyces cerevisiae*, and 160 kDa in *Schizosaccharomyces pombe* (Reichelt et al., 1981; Hien et al., 1983; Szilagyi et al., 2010).

When the optimum temperature values of β -(1,3)-glucans are examined, the lowest optimum temperature values are 24-40°C in fungi *Aspergillus fumigates*, 30°C in *Alternaria tenuissima*, 30°C in animals *Tenebrio molitor* and *Mizuhopecten yessoensis*. It has been observed to have a temperature of 30-45°C (Jirku et al., 1980; Likhatskaya et al., 2006; Genta et al., 2009; Hartl et al., 2011). The highest optimum temperature values were 95°C in bacteria *T. maritima* and 100-105°C in *Pyrococcus furiosus* from archaea (Gueguen et al., 1997). Therefore, according to these values, the adaptation potential of bacterial enzymes to high temperatures is much greater than the potential of eukaryotic enzymes. The potential of archaeal enzymes is even greater than that of bacteria. At the same time, endo- β -(1,3)-glucanase molecules of animal origin may show greater flexibility for adaptation to cold water conditions.

When the optimum pH values of β -(1,3)-glucans are examined, it has been observed that they show slightly acidic properties such as the PH value of 5.1. Typical optimum pH values range from 5.5-6.0 for bacterial glucanases, 3.8-6.0 for fungi, and 4.5-6.0 for plants. Considering the lowest optimum pH values, it can be given as 4.0 in *Delftia tsuruhatensis* from bacteria, 4.0-5.5 in *Euglena gracilis* from microalgae, 4.0 in *Lentinula edodes* from fungi (Sakamoto et al., 2011; Takeda et al., 2015). Considering the highest optimum pH values, 9.0-10.0 in *Bacillus* sp., 8.5 in *Zobellia galactanivorans* and 6.0-7.0 in *Thermotoga maritima* can be given as examples (Nogi and Horikoshi, 1990; Liu et al., 2012; Labourel et al., 2014). Optimum pH of β -(1,3)-glucanase forms isolated from *Cellulosimicrobium cellulans* varies according to the substrate, but is around 5.5-8.0. It was observed that the optimum working pH of the BglIIA enzyme of *O. xanthineolytica* LL G109 strain was around 4.0 on average (Ferrer et al., 1996).

The variable pH values of bacteria have brought to mind the idea that more mutations can be made, new properties can be given to proteins without decreasing cell viability and new products can be obtained (Usoltseva et al., 2020).

β -(1,3-1,4)-Glucanase (Lichenase) Enzyme

Lichenases are found in the endosperm cell walls of commercially important grains such as oats, sorghum, wheat, barley, rice and rye. Lichenase enzymes are used in the food and beverage industry, animal feed production, medical and pharmaceutical industries, and genetic engineering (Bhat and Bhat, 1997).

The first fungal gene encoding lichenase was cloned from the anaerobic fungus *Orpinomyces* in 1997 (Chen et al., 1997). Lichenases are found in the cell walls of plants of the higher Poaceae family. In

general, they are linear polysaccharides containing both β -(1,3) and β -(1,4) linked D-glucose, formed by the attachment of β -(1,3) side chains to the β -(1,4) main chain.

In addition to plants, many microorganisms such as bacteria and fungi also contain significant levels of β -(1,3-1,4)-glucanase. Plants also commonly contain β -(1,3-1,4)-glucanase. However, plant and microbial origin enzymes differ from each other in terms of some features such as amino acid sequences and three-dimensional structures. For example, plant enzymes belong to the glycosyl hydrolase 17 family, while microbial enzymes belong to the glycosyl hydrolase 16 family (Henrissat, 1991; Henrissat and Bairoch, 1993, Henrissat and Bairoch, 1996).

Considering their physical properties, the molecular weight of *Bacillus* lichenases is generally between 25-30 kDa. However, it was found to be 90 kDa in *R. flavefaciens*, 40.7 kDa in *Talaromyces emersonii*, 38 kDa in *C. thermocellum*, and 37 kDa in *F. succinogenes*. Optimum pH values are 9.0 in *B. brevis*, 6.5 in *S. bovis*, 4.8 in *Talaromyces emersoni*, 6.0 in *Orpinomyces*, 6.6-10.0 in *C. thermocellum* and N137 (80%) in alkalophilic *Bacillus* sp. more than pH 7.0-12.0 is at neutral (pH 6.0-7.5) level, except for enzymes. Optimum temperature values of enzymes also differ between bacteria, 80°C in *C. thermocellum*, 50°C in *F. succinogenes* and *S. bovis*, 55°C in *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis* bacteria, and *B. polymyxa* 45°C, *B. macerans*, *B. brevis*, *Bacillus* sp. It is 65°C in N137 origins (Erfle et al., 1988; Schimming et al., 1991; Flint et al., 1993; Chen et al., 1997; Planas, 2000).

Lichenases obtained from recombinant yeasts increase the aroma in wines and hydrolysis of β -(1,3) and β -(1,4)-glucans found in low-quality barley. Lichenases are increasingly coming to the fore in the preparation of animal feeds because they hydrolyze β -glucans at a higher level than other glucanases (Beckmann et al., 2006). Thermostable endo- β -(1,3-1,4)-glucanases are frequently used in the brewery industry to reduce fluidity during the mashing phase, as they are not inactive with temperature during malting and have a high molecular weight (Godfrey, 1983; Stone and Clarke, 1992).

Effect of Glucans on Immunity

Due to their high biological effect, glucans have great importance in areas such as tissue engineering, biomedical, pharmaceutical, apoptosis, anticancer, antitumor, anticoagulant, antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory, oxidative stress and immunostimulator (Miao et al., 1995; Kovalchuk et al., 2005; Kim et al., 2006; Kadam et al., 2015; Zargarzadeh et al., 2020; Park et al., 2020).

Antibiotics are often added to the feed of fish and farm animals to control infectious diseases and improve survival and growth. As it is known, excessive use of antibiotics leads to accumulation in the tissues of animals. In recent years, the primary use of glucans to prevent this accumulation, stimulate animals growth, and control pathogens has been on the immune system (Dalmo et al., 1998; Barman et al., 2013; Zhang et al., 2019).

In some studies investigating the effect of β -glucan against deadly pathogen infection in animals, it has been observed that it reduces the death rate by suppressing the infection. For example, it increases the

non-specific immune response and resistance against bacterial infection in Atlantic salmon (Robertsen et al., 1990), and the addition of β -glucan to the diet in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) increases plasma complement activity (Bagni et al., 2000), and plentiful yellow croaker. They reported that adding low (0.09%) and high (0.18%) levels of β -(1,3)-glucan to the diet of *Pseudosciaena crocea* fish increased phagocytic activity in kidney macrophages at low concentration (Ai et al., 2007).

In another study, when the effects of β -glucan addition to the diet of freshwater fish fathead minnow (*Pimephales promelas*) on neutrophil functions in non-stress, acute stress and chronic stress conditions were examined, glucan increased neutrophil degranulation in unstressed fish, while it prevented the decrease in degranulation in fish under acute stress. In fish under chronic stress, the degranulation level reached the level of unstressed fish 3 days after the addition of glucan. As a result of this study, researchers reported that the addition of β -glucan to the diet has the potential to increase the disease resistance and survival rate after transport or exposure to low-quality water by increasing neutrophil functions in fish in acute and chronic stress situations (Palic et al., 2006). In addition, in a study with *Laminaria digitata*, brown algae, they reported that it suppressed human colon cancer cells by 38.8% (Ji et al., 2012).

The increase in growth performance in fish largely depends on the amount of glucan used in the diet, feeding time, ambient temperature and the species studied. It has been reported that feeding strategies should be developed for each fish species concerning the dose and application time of glucan to increase growth performance (Dalmo and Bogwald, 2008).

The Importance of *Bacillus* Bacteria in Gene Cloning

The habitat of bacteria of the genus *Bacillus* is soil or ecosystems indirectly related to the soil. It has also been isolated from plants and animals directly associated with the relevant habitat.

B. subtilis is a motile, rod-shaped bacterium, the majority of which is non-pathogenic and is found almost everywhere in nature. This bacterium is aerobic and gram-positive; its spores are oval and subterminal, it is encapsulated and can grow quickly and easily in the medium without pre-enrichment. *B. subtilis* bacterium divides symmetrically. Since these bacteria are thermophilic, they are not affected by temperature. When exposed to adverse environmental factors such as salt, temperature and acidity, it maintains its vitality by forming spores (Fritze and Pukall, 2001).

Most of the microbial enzymes used in industrial areas are produced by bacteria belonging to the genus *Bacillus*. Since they are the dominant bacteria in microbial fermentation, approximately 75% of the 75 thousand tons of enzymes produced every year in the world are produced by *B. subtilis* bacteria. Most of the enzymes produced by *Bacillus* are used in starch, textile, fruit juice, brewing, detergent and feed industries.

The reasons why *B. subtilis* bacteria are so preferred in industrial areas are that they can easily grow in media without pre-enrichment in antibiotic, toxin and enzyme production studies, their fermentation period is short, they can be easily cultured, their isolation and diagnosis are easy, and there is no

heterogeneity in their structure (Priest, 1977). In addition, they are attractive industrial organisms for many reasons such as being safe (GRAS; Generally Recognized As Safe), having a low degree of pathogenicity in humans, being able to produce various industrial enzymes, not having an outer membrane, and having a high capacity to secrete enzymes produced inside the cell out of the cell.

Bacillus bacteria produce and secrete a large number and variety of hydrolytic enzymes that are active against various complex substrates. Therefore, organisms in the genus *Bacillus* are widely used in the industrial production of enzymes such as α -amylase, β -amylase, protease, β -glucanase, glucose isomerase and endonuclease (Uhlig, 1998).

Microorganisms such as *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* and *Aspergillus oryzae* are the most widely used enzyme sources in enzyme production (Glazer and Nikaido, 1995). Many *Bacillus* species produce glucanase enzyme from these enzyme sources. Therefore, the glucanase enzyme genes were cloned and characterized in *B. subtilis*, *B. lehensis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. brevis* bacteria (Cantwell and McConnell, 1983; Hinchliffe, 1984; Hofemeister, 1986; Murphy et al., 1984; Borriss et al., 1988; Bueno et al., 1990a and 1990b; Gosalbes et al., 1991; Lloberas et al., 1991; Louw et al., 1993; Taberner et al., 1994; Jaafar et al., 2020).

It has been determined that the use of *Bacillus* strains as feed additives in aquaculture causes an increase in feed efficiency, live weight gain, survival rate and growth performance, and positive effects on the immune system. (El-Haroun et al., 2006; Kumar et al., 2006; Bagheri et al., 2008; Merrifield et al., 2010).

Kumar et al. (2006) fed Indian major carp, *Labeo rohita*, with feed containing *B. subtilis* and reported that the proportional weight gain was higher (35.55%) compared to the experimental groups. Bagheri et al. (2008) added different levels (4,8x10⁸ kob/g, 1,2x10⁹ kob/g, 2,01x10⁹ CFU/g, 3,8x10⁹ CFU/g, 6,1x10⁹ CFU/g) of *Bacillus* spp (*B. subtilis* and *B. licheniformis*) to the feed of rainbow trout (*O. mykiss*) fry. They noted that *Bacillus* strains had a positive effect on growth and survival rate at the end of the feeding program.

In another study with rainbow trout (*O. mykiss*), *B. subtilis*, *B. licheniformis* and *E. faecium* bacteria were used as feed additives as single or multiple feed additives and a 10-week feeding schedule was applied. They reported that there was a significant increase in the weight gain of the fish at the end of the experiment (Merrifield et al., 2010).

El-Haroun et al., (2006) investigated the effect of commercial probiotics on growth performance and feed efficiency by adding 4 different rates (0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0%) of probiotic Biogen® (consists of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis*) to the feed of nil tilapia (*O. niloticus*) fingerlings. They stated that feeds with added probiotics provided higher growth performance and feed efficiency than feeds without probiotics at the end of the feeding period.

Conclusion

The development of recombinant *Bacillus* strains protects the health of the digestive system ecology, strengthens the immune system of the animals, and improves the quality of the feed material and facilitates its digestion.

For this purpose, recombinant strains created using biotechnological methods and genetic engineering techniques can be used in molecular studies in the future. It can be used as an alternative probiotic feed additive in the rations of aquatic products, experimental animals and other farm animals. Feeds will be produced more abundantly, economically and sustainably. By using these enzymes, which can be produced commercially as feed additives, animals will be able to benefit from the feed at the maximum rate.

Statement of Conflict of Interest

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed to the article at a similar rate.

References

- Adıyaman E., Ayhan V. Etlik piliçlerin beslenmesinde aromatik bitkilerin kullanımı. Hayvansal Üretim 2010; 51(1): 57-63.
- Ai Q., Mai K., Zhang L., Tan B., Zhang W., Xu W., Li H. Effects of dietary β -(1,3)-glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudoscia crocea*. Fish & Shellfish Immunology 2007; 22(4): 394-402.
- Alp M., Kahraman R. Probiyotiklerin hayvan beslemede kullanılması. İstanbul Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi 1996; 22(1): 1-8.
- Aydın G., Koçak D. Bazı antibiyotiklerin kanatlı yemlerinde yem katkı maddesi olarak kullanımlarındaki sakıncalar ve Avrupa birliği'nin bu konuda aldığı kararlar, Viv. Poultry Yutav'99 Uluslar Arası Tavukçuluk Fuarı ve Konferansı, 3-6 Haziran 1999; 316-320, İstanbul.
- Bagheri T., Hedayati SA., Yavari V., Alizade M., Farzanfar A. Growth, survival and gut microbial load of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) fry given diet supplemented with probiotic during the two months of first feeding. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2008; 8: 43-48.
- Bagni M., Archetti L., Amadori M., Marino G. Effect of long-term administration of an immunostimulant diet on immunity in Sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Journal of Veterinary Medicine 2000; 47(10): 745-751.
- Barman D., Nen P., Mandal SC., Kumar V. Aquaculture health management: A New approach. Journal of Marine Science: Research & Development 2013; 3(4): 1-11.

- Beckmann L., Simon O., Vahjen W. Isolation and identification of mixed linked β -glucan egrading bacteria in the intestine of broiler chickens and partial characteriation of respective 1,3-1,4-glucanase activities. *Journal of Basic Microbiology* 2006; 46(3): 175-185.
- Bhat MK., Bhat S. Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. *Biotechnology Advances* 1997; 15: 583-620.
- Borriss R., Manteuffel R., Hofemeister J. Molecular cloning of a gene coding for thermostable beta-glucanase from *Bacillus macerans*. *Journal of Basic Microbiology* 1988; 28: 1-10.
- Buchanan J., Sarac HZ., Poppi D., Cowan RT. Effects of enzyme addition to canola meal in prawn diets. *Aquaculture* 1997; 151: 29-35.
- Bueno A., Vazquez D., Aldana CR., Correa J., Del RF. Nucleotide sequence of a 1,3-1,4- β -glucanase-encoding gene in *Bacillus circulans* WL-12. *Nucleic Acids Research* 1990a; 18(14): 42-48.
- Bueno A., Vazquez D., Aldana CR., Correa J., Del RF. Synthesis and secretion of a *Bacillus circulans* WL-12 1,3-1,4- β -D-glucanase in *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology* 1990b; 172(4): 2160-2167.
- Cantwell BA., McConnell MJ. Molecular cloning and expression of a *Bacillus subtilis* β -glucanase gene in *Escherichia coli*. *Gene* 1983; 23(2): 211-219.
- Carrasco P., Beltrán JP., Peretó G., Granell A. 1,3- β -Glucan hydrolase from citrus, phytochemistry 1983; 22(12): 2699-2701.
- Cavazzoni V., Adami A., Castrovilli, C. Performance of broiler chickens supplemented with *Bacillus coagulans* as probiotic. *British Poultry Science* 1998; 39(4): 526-529.
- Chattopadhyay MK. Use of antibiotics as feed additives: A burning question. *Frontiers in Microbiology* 2014; 334(5): 1-3.
- Chen H., Li XL., Ljungdahl LG. Sequencing of a 1,3-1,4-beta-D-glucanase (lichenase) from the anaerobic fungus *Orpinomyces* strain PC-2 properties of the enzyme epressed in *Escherichia coli* and evidence that the gene has a bacterial origin. *Journal of Bacteriology* 1997; 179(19): 6028-6034.
- Coutinho PM., Henrissat B. Carbohydrate-active enzymes: an integrated database approach. Cambridge: In: Gilbert H, Davies G, Henrissat B, Svensson B., Editor. Recent advances in carbohydrate bioengineering. The Royal Society of Chemistry 1999; 3-12.
- Çiftçi İ. Yem katkı maddesi olarak enzimler, çiftlik hayvanlarının beslenmesinde temel prensipler ve karma yem üretiminde bazı bilimsel yaklaşımlar. İstanbul: Farmavet İlaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2001; 543-583.
- Dafwang II., Bird HR., Sunde ML. Broiler chick growth response to antibiotics. *Poultry Science* 1984; 63: 1027-1032.
- Dalmo RA., Bogwald J. β -Glucans as conductors of immune symphonies. *Fish & Shellfish Immunology* 2008; 25(4): 384-396.

- Dalmo RA., Martinsen B., Horsberg TE., Ramstad A., Syvertsen C., Seljelid R., Ingebrigtsen K. Prophylactic effect of beta-1,3-d-glucan (laminaran) against experimental *Aeromonas salmonicida* and *Vibrio salmonicida* infections, *Journal of Fish Diseases* 1998; 21(6): 459-462.
- Deguara S., Jauncey K., Feord J., López J. Growth and feed utilization of gilthead sea bream, *Sparus aurata*, fed diets with supplementary enzyme. *Ciheam-Options Mediterraneennes* 1999; 195-215.
- Demirel R., Gürbüz Y. Karma yemlerde enzim kullanımı. *Viv. Poultry Yutav'99 Uluslararası Tavukçuluk Fuarı ve Konferansı*, 3-6 Haziran 1999; 489-495, İstanbul.
- Drew MD., Racz VJ., Gauthier R., Thiessen DL. Effect of adding protease to coextruded flax: pea or canola: pea products on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Animal Feed Science and Technology* 2005; 119: 117-128.
- El-Haroun ER., Goda AS., Kabir Chowdhury AM. Effect of dietary probiotic Biogen® supplementation as a growth promoter on growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research* 2006; 37: 1473-1480.
- Erdoğan Z. Broyler rasyonlarında antibiyotik ve probiyotik kullanılması. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi* 1999; 39(2): 57-69.
- Erfle JD., Teather RM., Wood PJ., Irvn JE. Purification and Properties of a 1,3-1,4-beta-D-glucanase (lichenase, 1,3-1,4-beta-D-glucan 4-glucanohydrolase, E.C. 3.2.1.73) from *Bacteroides succinogenes* cloned in *Escherichia coli*. *Biochemical Journal* 1988; 255(3): 833-841.
- Ferrer P. Revisiting the *Cellulosimicrobium cellulans* yeast-lytic β -1,3-glucanases toolbox: A review. *Microbial Cell Factories* 2006; 5(10): 1-8.
- Ferrer P., Halkier T., Hedegaard L., Savva D., Diers I., Asenjo JA. Nucleotide sequence of a β -1,3-glucanase isoenzyme II_A gene of *Oerskovia xanthineolytica* LL G109 (*Cellulomonas cellulans*) and initial characterization of the recombinant enzyme expressed in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology* 1996; 178(15): 4751-4757.
- Flint HJ., Martin J., Mcpherson CA., Daniel AS., Zhang JX. A Bifunctional enzyme, with separate xylanase and β -(1,3-1,4)-glucanase domains, encoded by the xynD gene of *Ruminococcus flavefaciens*. *Journal of Bacteriology* 1993; 175: 2943-2951.
- Fritze D., Pukall R. Reclassification of bioindicator strains *Bacillus subtilis* DSM 675 and *Bacillus subtilis* DSM 2277 as *Bacillus atrophaeus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 2001; 51: 35-37.
- Genta FA., Bragatto I., Terra WR., Ferreira C. Purification, characterization and sequencing of the major beta-1,3-glucanase from the midgut of *Tenebrio molitor* larvae. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 2009; 39(12): 861-874.
- Glazer AN., Nikaido H. *Microbial enzymes. microbial biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology*. W.H. Freeman and Company 1995; 662 USA.
- Godfrey T., Remchelt J. *Industrial enzymology*. London: McMillian 1983.

- Goldenkova-Pavlova IV., Tyurin AA., Mustafaev ON. The features that distinguish lichenases from other polysaccharide-hydrolyzing enzymes and the relevance of lichenases for biotechnological applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2018; 102: 3951-3965.
- Gosalbes MJ., Perez-Gonzalez JA., Gonzalez R., Navarro A. Two beta-glycanase genes are clustered in *Bacillus polymyxa*: molecular cloning, expression, and sequence analysis of genes encoding a xylanase and an endo-beta-(1,3)-(1,4)-glucanase. *Journal of Bacteriology* 1991; 173(23): 7705-7710.
- Gueguen Y., Voorhorst WGB., Oost JVD., Vos WMD. Molecular and biochemical characterization of an endo-beta-1,3- glucanase of the hyperthermophilic archaeon *Pyrococcus furiosus*. *Journal of Biological Chemistry* 1997; 272(50): 31258-31264.
- Hartl L., Gastebois A., Amanianda V., Latge JP. Characterization of the GPI-anchored endo beta-1,3- glucanase Eng2 of *Aspergillus fumigatus*. *Fungal Genetics and Biology* 2011; 48(2): 185-191.
- Henrissat B. A Clasification of glycoside hydrolases based on amino acid sequence similarities. *The Biochemical Journal* 1991; 280(2): 309-316.
- Henrissat B., Bairoch A. New families in the classification of glycosyl hydrolyses based on amino acid similarities. *Biochemical Journal* 1993; 293: 781-788.
- Henrissat B., Bairoch A. Updating the sequence-based classification of glycosyl hydrolases. *Biochemical Journal* 1996; 316: 695-696.
- Hien NH., Fleet GH. Separation and characterization of six (1 leads to 3) beta glucanases from *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Bacteriology* 1983; 156(3): 1204-1213.
- Hinchliffe E., Box WG. expression of the cloned endo-1,3-1,4- β -glucanase gene of *Bacillus subtilis* in *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Genetics* 1984; 8: 471-475.
- Hofemeister J., Kurtz A., Borris R., Knowles J. The beta-glucanase gene from *Bacillus amyloliquefaciens* shows extensive homology with that of *Bacillus subtilis*. *Gene* 1986; 49(2): 177-187.
- Horikoshi K. Alkaliphiles: some applications of their products for biotechnolgy. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 1999; 63(4): 735-750.
- Hughes P., Heritage J. Antibiotic growth promoters. *Feed Technology* 2002; 6(8): 20-22.
- Jaafar NR., Khoiri NM., Ismail NF., Nik Mahmood NA., Murad AMA., Bakar FDA., Yajit NLM., Illia RM. Functional characterisation and product specificity of endo- β -1,3-glucanase from alkalophilic bacterium, *Bacillus lehensis* G1. *Enzyme and Microbial Technology* 2020; 140: 109625.
- Ji YB., Ji CF., Zhang H. Laminarin induces apoptosis of human colon cancer lovo cells through a mitochondrial pathway. *Molecules* 2012; 17(8): 9947-9960.
- Jirku V., Kraxnerova B., Krumphanzl V. The extracellular system of beta-1,3-glucanases of *Alternaria tenuissima* and *Aspergillus vesicolor*. *Folia Microbiology* 1980; 25(1): 24-31.

- Kadam SU., O'Donnell CP., Rai DK., Hossain MB., Burgess CM., Walsh D., Tiwari B.K. Laminarin from irish brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*: Ultrasound assisted extraction, characterization and bioactivity. *Marine Drugs* 2015; 13(7): 4270-4780.
- Karademir G., Karademir B. Yem katkı maddesi olarak kullanılan biyoteknolojik ürünler. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi* 2003; 43(1): 61-74.
- Keser O., Bilal T. Beta-glukan'ın hayvan beslemede bağışıklık sistemi ve performans üzerine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2008; 5(2): 107-119.
- Kim KH., Kim YW., Kim HB., Lee BJ., Lee DS. Anti-apoptotic activity of laminarin polysaccharides and their enzymatically hydrolyzed oligosaccharides from *Laminaria japonica*. *Biotechnology Letters* 2006; 28(6): 439-446.
- Kovalchuk SN., Sundukova EV., Kusaykin MI., Guzev KV., Anastiuk SD., Kuda T., Yano T., Matsuda N., Nishizawa M. Inhibitory effects of laminaran and low molecular alginate against the putrefactive compounds produced by intestinal microflora in-vitro and in rats. *Food Chemistry* 2005; 91: 745-749.
- Kumar R., Mukherjee SC., Prasad KP., Pal AK. Evaluation of *Bacillus subtilis* as a probiotic to Indian major carp *Labeo rohita* (Ham.). *Aquaculture Research* 2006; 37: 1215-1221.
- Kutlu HR., Çelik L. Yemler Bilgisi ve Yem Teknolojisi. Adana: Ç.Ü. Ziraat Fak., Ders Kitapları 2005.
- Kutlu HR., Serbester U. Ruminant beslemede son gelişmeler. *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2014; 2(1): 18-37.
- Labourel A., Jam M., Jeudy A., Hehemann JH., Czjzek M., Michel G. The beta-glucanase ZgLama from *Zobellia galactanivorans* evolved a bent active site adapted for efficient degradation of algal laminarin. *Journal of Biological Chemistry* 2014; 289(4): 2027-2042.
- Likhatskaya GN., Trifonov EV., Nurminski EA., Kozhemyako VB., Zvyagintseva TN., Rasskazov VA. Purification, cDNA cloning and homology modeling of endo-1,3-beta-d-glucanase from scallop *Mizuhopecten yessoensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 2006; 143(4): 473-485.
- Liu WC., Lin YS., Jeng WY., Chen JH., Wang AH., Shyur LF. Engineering of dual functional hybrid glucanases. *Protein Engineering, Design and Selection* 2012; 25(11): 771-780.
- Lloberas J., Perez-Pons JA., Querol E. Molecular cloning, expression and nucleotide sequence of the endo- β -1,3-1,4-d-glucanase gene from *Bacillus licheniformis*. *European Journal of Biochemistry* 1991; 197(2): 337-343.
- Louw ME., Reid SJ., Watson TG. Characterization, cloning and sequencing of a thermostable endo-(1,3-1,4) beta-glucanase encoding gene from alkalophilic *Bacillus brevis*. *Applied Genetics and Regulation* 1993; 38: 507-513.
- Manners DJ., Wilson G. Studies on beta-glucanases. some properties of a bacterial endo-beta-(1,3)-glucanase system. *Biochemical Journal* 1973; 135(1): 11-18.

- Merrifield DL., Dimitroglou A., Bradley G., Baker RTM., Davies SJ. Probiotic applications for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) I. Effects on growth performance, feed utilization, intestinal microbiota and related health criteria. *Aquaculture Nutrition* 2010; 16(5): 504-510.
- Miao HQ., Ishai-Michaeli R., Peretz T., Vlodaysky I. Laminarin sulfate mimics the effects of heparin on smooth muscle cell proliferation and basic fibroblast growth factor-receptor binding and mitogenic activity. *Journal of Cellular Physiology* 1995; 164(3): 482-490.
- Murphy N., Mcconnell, DJ., Cantwell BA. The DNA sequence of the gene and genetic control sites for the excreted *B. subtilis* enzyme β -glucan hydrolase. *Nucleic Acids Research* 1984; 12(13): 5355-5367.
- Ng WK., Koh CB. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture* 2017; 9: 342-368.
- Nir İ., Şenköylü N. Sindirimi destekleyen yem katkı maddeleri. Tekirdağ: Roche 2000.
- Nogi Y., Horikoshi K. A thermostable alkaline β -1,3-glucanase produced by alkalophilic *Bacillus* sp. AG-430. *Applied Microbiology Biotechnology* 1990; 32: 704-707.
- Palic D., Andreasen CB., Herolt DM., Menzel BW., Roth JA. Immunomodulatory effects of β -glucan on neutrophil function in fathead minnows (*Pimephales promelas Rafinesque*, 1820). *Development and Comparative Immunology* 2006; 30(9): 817-830.
- Park JH., Ahn JH., Lee TK., Park CW., Kim B., Lee JC., Won MH. Laminarin pretreatment provides neuroprotection against forebrain ischemia/reperfusion injury by reducing oxidative stress and neuroinflammation in aged gerbils. *Marine Drugs* 2020; 18(4): 1-14.
- Planas A. Bacterial 1,3-1,4- β -glucanases: structure, function and protein engineering (Review). *Biochimica et Biophysica Acta* 2000; 1543(2): 361-382.
- Prescott LM., Harley JP., Klein DA. *Microbiology*. New York: USA. Fourth Edition, McGraw-Hill Companies 1999;
- Priest FG. Extracellular enzyme synthesis in the genus *Bacillus*. *Bacteriology Reviews* 1977; 41(3): 711-753.
- Reichelt BY., Fleet GH. Isolation, properties, function, and regulation of endo-(1,3)-beta-glucanases in *Schizosaccharomyces pombe*. *Journal of Bacteriology* 1981; 147(3): 1085-1094.
- Robertsen B., Roerstand G., Engstad RE., Raa J. Enhancement of non-specific disease resistance in Atlantic Salmon, *Salmo salar* L., by a Glucan from *Saccharomyces cerevisiae* Cell Walls. *Journal of Fish Diseases* 1990; 13(5): 391-400.
- Rosen GD. *Antibacterials in poultry and pig nutrition*. Germany: Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding; VCH press 1995; 225-257.
- Saeki K., Iwata J., Yamazaki S., Watanabe Y., Tamai Y. Purification and characterization of a yeast lytic β -1,3-glucanase from *Oerskovia xanthineolytica* TK-1. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 1994; 78(6): 407-412.

- Sakamoto Y., Nakade K., Konno, N. Endo-beta-1,3-glucanase GLU1, from the fruiting body of *lentula edodes*, belongs to a new glycoside hydrolase family. *Applied and Environmental Microbiology* 2011; 77(23): 8350-8354.
- Schimming S., Schwarz WH. Staudenbauer WL. Properties of a thermoactive beta-1,3-1,4-glucanase (lichenase) from *Clostridium thermocellum* expressed in *Escherichia coli*. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1991; 177(1): 447-452.
- Srivastava N. Production of food-processing enzymes from recombinant microorganisms. In: Kuddus M., eds. *Enzymes in Food Biotechnology*: Academic Press 2019; 739-767.
- Stone BA., Clarke AE. *Chemistry and biology of 1,3-β-Glucans*. Bundoora, Australia: La Trobe Univ. Press 1992.
- Sullivan A., Nord CE. The Place of probiotics in human intestinal infection. *International Journal of Antimicrobial Agents* 2002; 20(5): 313-319.
- Sutay Kocabaş D. Gıda endüstrisinde enzimlerin rolü ve ilgili yasal düzenlemeler. Ankara: Ögel ZB, Editör. *Gıda Biyoteknolojisi 1. Baskı. Türkiye Klinikleri* 2021; p:29-38.
- Szilagyı M., Kwon NJ., Dorogi C., Poci I., Yu JH., Emri T. The extracellular beta-1,3-endo-glucanase engA is involved in autolysis of *Aspergillus nidulans*. *Journal of Applied Microbiology* 2010; 109(5): 1498-1508.
- Taberner C., Coll PM., Fernandez-Abalos JM., Perez P., Santamaria RI. Cloning and DNA sequencing of *bgaA*, a gene encoding an endo-β-1,3-1,4-glucanase, from an alkalophilic *Bacillus* strain (N137). *Applied and Environmental Microbiology* 1994; 60(4): 1213-1220.
- Takeda T., Nakano Y., Takahashi M., Konno N., Sakamoto Y., Arashida R., Marukawa Y., Yoshida E., Ishikawa T., Suzuki K. Identification and enzymatic characterization of an endo-1,3-beta-glucanase from *Euglena gracilis*. *Phytochemistry* 2015; 116: 21-27.
- Uhlig H. *Industrial enzymes and their applications*. New York: John Wiley&Sons, Inc. 1998.
- Usoltseva RV., Belik AA., Kusaykin MI., Malyarenko OS., Zvyagintseva TN. Ermakova SP. Laminarans and 1,3-β-d-glucanases. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 163: 1010-1025.
- Usui T., Totani K., Totsuka A., Oguchi M. Purification of endo-(1,3)-β-D-glucanases lysing yeast cell walls from *Rhizoctonia solani*, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subject* 1985; 840(2): 255-263.
- Wiseman A. *Handbook of enzyme biotechnology*. Second Edition. Chapter 3. *Biochemical Education* 1987; 5(3): 274-373.
- Yıldırım Ö., Acar Ü., Çantaş İB. Balık yemlerinde kullanılan yem katkı maddeleri. *Journal of Fisheries Sciences* 2014; 8(4): 278-290.
- Yiğit NÖ., Koca SB. Balık yemlerinde enzim kullanımı. *Journal of Fisheries Sciences* 2011; 5(3): 205-212.

Zargarzadeh M., Amaral AJR., Custodio CA., Mano JF. Biomedical applications of laminarin. *Carbohydrate Polymers* 2020; 232: 115774.

Zhang Z., Chi H., Dalmo RA. Trained innate immunity of fish is a viable approach in larval aquaculture. *Frontiers in Immunology* 2019; 10: 42.

Organic and Ecological Production of Chicken Meat and Eggs: A Review of the Regulatory Harmonization Between the EU and Republic of Serbia

Milena MİLOJEVIĆ^{1*}, Aleksandra MİLOŠEVIĆ², Tugay AYASAN³, Sladjana ZARIĆ⁴, Sevda INAN⁵

¹Academy of Vocational Studies Šabac, Serbia

²Faculty of Law, University of Belgrade, Serbia

³Osmaniye Korkut Ata University, Kadirli Faculty of Applied Sciences, Department of Organic Agricultural Management, Osmaniye, Turkey

⁴Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Serbia

⁵Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0001-6997-1532>

²<https://orcid.org/0000-0003-3231-5616>

³<https://orcid.org/0000-0001-7397-6483>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-0941-8142>

⁵<https://orcid.org/0000-0001-8138-5851>

*Corresponding author: milena.n.milojevic23@gmail.com

Review Article

Article History:

Received: 31.01.2022

Accepted: 26.04.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Organic

Chicken meat

Organic egg

ABSTRACT

The interest in organic livestock and products produced from animals has increased considerably in recent years; Studies on this subject have been concentrated. In this review, organic and ecological production of chicken meat and eggs has been examined: the review of legislative harmony between the EU and the Republic of Serbia. Pure (autochthonous) breeds and their crossbreeds in organic production have lately become the research subject of a growing number of authors. Principles of organic livestock production, among other things, refer to the welfare of animals which inherently includes their health preservation and the production of high quality animal products with the aim of setting up an ecologically acceptable production. Organic products are tasty, safe and have high nutritive values.

Tavuk Eti ve Yumurtalarının Organik ve Ekolojik Üretimi: AB ile Sırbistan Cumhuriyeti Arasındaki Mevzuat Uyumunun Gözden Geçirilmesi

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 31.01.2022

Kabul tarihi: 26.04.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Organik

Tavuk eti

Organik yumurta

ÖZ

Organik hayvancılık ve hayvanlardan üretilen ürünlere olan ilgi son yıllarda oldukça artış göstermiş olup; bu konu ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu derlemede tavuk eti ve yumurtalarının organik ve ekolojik üretimi: AB ile Sırbistan Cumhuriyeti arasındaki mevzuat uyumunun gözden geçirilmesi üzerinde durulmuştur. Organik üretimde saf (otokton) ırklar ve onların melezleri son zamanlarda artan sayıda yazarın araştırma konusu haline gelmiştir. Organik hayvancılık üretiminin temel ilkeleri, diğer şeylerin yanı sıra, ekolojik olarak kabul edilebilir üretimin kurulması ve organize edilmesi amacıyla evcil hayvanların sağlığının korunmasını ve yüksek kaliteli hayvansal ürünlerin üretimini içeren evcil hayvan refahına atıfta bulunmaktadır. Organik ürünler lezzetlidir, sağlık açısından güvenlidir ve yüksek besin değerlerine sahiptir.

To Cite: Milojevic M., Milosevic A., Ayasan T., Zanic S., Inan S. Organic and Ecological Production of Chicken Meat and Eggs: A Review of the Regulatory Harmonization Between the EU and Republic of Serbia. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1872-1889.

1.Introduction

In ecological forms of production, which also include the methods of organic agriculture, the existing knowledge of agronomy must be supplemented with biological and ecological expertise in order to protect the agroecosystem and ecosystem (environment) through this type of production. Fundamentally, organic (biological, ecological) production is based on the principles of agroecology. Namely, “organic production”, as a part of sustainable development, is based on the application of agroecological and agroeconomic principles, and it includes production, processing, product storage, distribution and sale, together with the production control and product certification. More specifically, organic production is a part of sustainable technology of agricultural production in which scientific findings are used to understand the laws of nature. Also, in the long run, organic production is set up on the principle of human health and environmental protection.

The main negative effects that follow conventional (intensive) production are the soil and biodiversity erosion, animal products made from animals bred in chronic stress conditions, the presence of antibiotics residues and plant protection products. For this reason, contemporary organic production is developed on the ecological principles to which economical production with agroecosystem and ecosystem preservation are inherent. It means the production of quality, safe, controlled and certified food that meets the needs of contemporary consumers, and contributes to the rational resource usage and environmental protection. According to the definition given by FAO (<http://www.fao.org>), “organic agriculture” is a process of sustainable development of rural areas in accordance with disposable resources, tradition and biodegradable potential of the habitat, and it represents a complete and whole farmer production, crop and animal husbandry alike, which also covers the preservation and renewal of natural resources and return to traditional values and knowledge. In other words, self-sustainable organic agriculture represents, among other things, an attempt to identify the methods which should enable the production of organic food with the reduction of negative effects of intensive agricultural production.

Organic agricultural production is an entirely controlled production cycle from the aspect of IFOAM legal regulations (International Federation of Organic Agriculture Movements, 1996). According to these, the production conditions must be adjusted to the specific requirements of each country in which the production takes place in accordance with the existing laws. In order to set up organic agricultural production in an area, precisely defined requirements must be met, such as: the isolation of land plots, animal farms and processing facilities from potential sources of contamination; a suitable quality of water for irrigation; a harmonized development of plant and animal production and the competence of qualified persons and producers who are obliged to continually improve and update their knowledge and skills.

In developed countries, where the aggressive use of available chemicals has led to the deterioration of water, air and soil quality in contemporary agriculture, establishing organic production is almost impossible, which causes a great lack of organic products. Hence, less developed countries whose

agroecosystem is still preserved, have an opportunity to increase their export of organic products. Organic products are tasty, safe, have high nutritive values, are rich in minerals, especially potassium and iron, and also contain a higher level of magnesium, phosphorus and vitamin C. As in conventional agricultural production, organic products can be fresh or processed, which depends on production methods. Organic products take up only 1% of the total world food market, but the demand for them is continually growing on the global level, and their participation in the world trade flows is getting more and more significant.

The Republic of Serbia and The Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina), like many other countries in the world, fulfill all the requirements for the organized development of high quality, safe, certified food that meets the consumers' needs and corresponds to export increase, making ecological and economic profit without jeopardizing the environment. As for the current state of legislation in the Republic of Serbia, our normative framework is completely harmonized with the EU directives. Enacted and implemented laws and regulations strictly follow the principle of "ecological welfare", facilitating the export of final organic products to the EU and third country markets. This is the reason why organic production is described as a controlled way of production from field to table - it prevents a potential deterioration of ecosystem and human health. For countries in the region, this is a very important type of production, since they have always been agricultural countries with significant natural resources and a long production tradition. Contemporary tendencies and the awareness of the necessity of ecological production and environmental protection have given rise to organic production as an alternative for conventional production. The contemporary scientific findings and technological advances make possible the successful application of organic production in all forms of agriculture, including livestock breeding. Also, the fact that one of the most important characteristics of organic production is the principle of plant and animal production unity should never be overlooked. These are the very principles the legislator was guided by when regulating the area of organic production, having as a goal the setting up of organic production as a complete system of managing and producing food based on ecological procedures, high degree of biological diversity, preservation of natural resources and high standards of animal welfare (Organic production law - Official Gazette of RS, no. 30/2010 and 17/2019).

The objective of this paper is to show the results of organic production of poultry meat and eggs in suitable ecological conditions that have been reached so far. In organic production pure (autochthonous) breeds and their crossbreeds have lately become the research subject of a growing number of authors. Basic principles of organic livestock production, among other things, refer to domestic animals welfare which inherently includes their health preservation and the production of high quality animal products with the aim of setting up and organizing ecologically acceptable production.

2.The Results of Organic Poultry Meat and Egg Production

Based on references, it is noticeable that, pure (autochthonous) breeds and their hen crossbreeds (more rarely hybrids) have lately become a subject of research for a certain number of authors in the field of organic poultry production, especially in the European Union countries. Besides, it can be said that a slightly stronger emphasis was put on organic poultry meat production, and weaker on egg production by laying hens according to organic principles. This contradicts Hovi et al. (2003), who state that it is much easier to organize organic egg production than organic meat production in the countries where free-range system is used, due to a more demanding choice of breed (hybrid) with specific performances such as slower growth and movement in free nature.

2.1.The Results of Organic Egg Production

The research conducted by Sorensen and Kjaer (2000), which deals with the potential of traditional breed for organic egg production in Germany, proved to be interesting. The authors examined two breeds at the same time (White Leghorn and New Hampshire), their crossbreeds that were inclined towards a greater egg carrying capability and a line hybrid ISA Brown, and the organically produced eggs (the floor housing system) were most commonly sold in Denmark. The research (comparison) was carried out in experimental organic production conditions. From 18th to 43rd week of age, the highest egg production was found in ISA Brown. Still, within this time period of rearing laying hens, the mortality caused by cannibalism was several times higher in ISA Brown (16%) compared to other traditional breeds and crossbreeds (0.0-1.1%). Although ISA Brown reared in this housing system were the most productive, the poultry welfare was dramatically endangered. It follows that it was difficult to achieve high egg production and simultaneously preserve the health of laying hens. On these grounds, the authors argued that, the attempt to find alternative breeds/hybrids, i.e. to create 'organic hens', was still not finalized. Grobbelaar (2008) and Grobbelaar et al. (2010) came to similar conclusions, especially regarding mortality. They examined certain productive parameters in three South African autochthonous breeds, Leghorn and Naked Neck, during a production cycle (52 weeks). There were significant differences between the examined breeds ($P < 0.05$), especially regarding mortality, which was almost twice as small in autochthonous breeds compared to Leghorn and Naked Neck. In addition, the authors found out that, an average body mass of 16-week-old Naked Necks was 1.10 kg, and of 20-week-old Naked Necks it was 1.40 kg. The full maturity was reached at 155 days, while Leghorn laying hens weighed on average 1.17 kg at 17 weeks, and 1.70 kg at 76 weeks, reaching the full maturity at 149 days. However, unlike mortality, the egg carrying capacity and egg mass in Naked Neck and Leghorn, compared to native South African breeds were higher and statistically significant ($P < 0.05$). During the production cycle (52 weeks), 138.9 and 279.5 eggs were produced per housed Naked Neck and Leghorn, respectively. The average egg mass was 55.10 g (Naked Neck) and 60.50 g (Leghorn).

As in the majority of European countries and the world, domestic (autochthonous) breeds are also reared in the Republic of Serbia in quite large quantities, mostly in rural households in semi-extensive or extensive systems. These breeds are: Sombor Kaporka, Svrljig Black, Naked Neck and Banat Naked Neck. In addition, there are foreign pure breeds: Rode Island Red, Naked Neck, White Leghorn and New Hampshire. The characteristics of these breeds in Serbia are relatively little observed and determined. Modest research on determining the productivity of these breeds was done by Mašić et al. (1970), Žigić et al. (1970), Marinković et al. (1972), Apostolov (1976), Apostolov and Apostolov (1976), while Milošević et al. (2005), Pavlovski et al. (2009), Mitrović et al. (2011b) conducted somewhat larger research, primarily in order to determine fattening and slaughter characteristics of these breeds reared in different systems. In addition, these authors found statistically significant positive coefficients of phenotype correlation ($P < 0.001$) between egg and chicken masses. A negative correlation coefficient was found between the egg mass and the percentage of chicken in the White Naked egg. This turned out positive in Svrljig Black and the correlation coefficient did not seem to be statistically significant ($P > 0.001$).

Mašić et al. (1970) found a bigger mass in the eggs originating from White Rock (61.18 g) than New Hampshire (58.36 g). A similar egg mass in New Hampshire, on average 58.29 g, was found by Žigić et al. (1970), while the egg shape index was about 72.89%. A significantly lower egg mass (56.89 g) was found in White Rock by Marinković et al. (1972) and Apostolov (1976). Apostolov and Apostolov (1976) found that, in White Rock, a relative chicken mass in relation to the total egg mass was around 66%. Mitrović et al. (2011b) examined the incubation values of eggs originating from two breeds, i.e. hen class (Svrljig Black and White Naked Neck) that are reared in extensive systems in the rural areas of Serbia. The chicken hatchability was 1.98% higher in White Naked Neck than in Svrljig Black. The average egg mass was also statistically significantly higher ($P < 0.01$) in White Naked Neck (61.27 g) than in Svrljig Black (57.67 g), as well as one-day-old chicken mass (41.13 g - White Naked Neck and 39.47 g - Svrljig Black), whereas the relative proportion of chicken mass in the total egg mass was 1.27% higher in Svrljig Black (67.16% - Svrljig Black and 68.43%, White Naked Neck). But the difference was not statistically confirmed.

In addition to the mentioned authors, the productivity and quality of eggs of autochthonous hen populations reared in extensive conditions were researched by Pavlovski (1990), Mašić and Pavlovski (1994), Supić et al. (1997), Tolimir et al. (1997). Mašić and Pavlovski (1994) came to the conclusion that different housing systems of laying hens had small effect on egg quality, when feeding was equal in each system. However, Pavlovski (1990) brought up a suggestion to research the quality of eggs that had demonstrated a persuasive advantage of the extensive system over the battery system, with the quality being expressed in Haugh-units. Since the participation of autochthonous hen populations was much higher in the extensive keeping system, the question whether autochthonous hens lay better quality eggs than culture breeds or industrial laying hen hybrids was still open. An exquisite addition to this debate was given by Tolimir et al. (1997), who examined external and internal parameters of

certain egg populations of East Serbia autochthonous breeds. Generally, the mentioned authors argue that the examined parameters of external and internal egg quality were significantly different in autochthonous hens in comparison to the bibliography data related to hybrid laying hens in industrial production ($P < 0.05$). On top of that, it is emphasized that, further research should show whether there are genetic differences between individual flocks of autochthonous hens in the observed or other circumstances.

Supić et al. (1997) described external and physiological characteristics of autochthonous poultry breeds in Vojvodina (Naked Neck and Sombor Kaporka), based on their own and other authors' data. The authors showed a current number of domestic hens included in the control flock. The control flock consisted of 235 hens and 29 roosters (total 264 heads) of Naked Neck, and 36 hens and 4 roosters (total 40 heads) of Sombor Kaporka. The control of productive and reproductive characteristics was carried out in both breeds. Three flocks of each breed underwent the control. The productive characteristics of Naked Neck, depending on the flock, were as follows: age in the control group from 39 to 52 weeks; egg production per laying hen from 30.41 (30.11 breeding eggs) to 62.00 (59 for setting) pieces; the average intensity of egg carrying capacity was from 43.44% to 44.14%; the hatchability of laid eggs was from 63.16% to 82.22%. More favourable productive characteristics were found in Sombor Kaporka flocks: the control group age from 30 to 68 weeks; egg production per laying hen from 40 (35 for setting) to 70 pieces; egg carrying capacity from 45.86% to 57.14%, and the hatchability of laid eggs between 75.12% and 81.35%.

The productive and reproductive characteristics of pure breeds (Rhode Island Red, Barred Plymouth Rock, White Leghorn, White Rock and New Hampshire) and hybrids (Ross 308, Cobb 500 and Ross SL 2000) were researched by many researches (Vieira et al. 2005; Almeida et al. 2006; Đermanović, 2010. In 2 studies by Islam et al. (2002), in which four hen breeds were observed (White Rock, WR; White Leghorn, WL; Barred Plymouth Rock, BPR; Rhode Island Red, RIR), the highest fertilization (fertility) of eggs was found in WLH (95.08%), and the lowest in RIR (88.16%) and the differences were statistically important ($P < 0.01$). The chicken hatchability out of the number of fertile eggs was approximately similar, ranging from 88.50% (BPR) to 92.27% (WR) and the differences were not important. In addition, the authors found the largest average egg mass in WLH (59.48 g), the smallest in BPR (58.04 g), and the differences were also not important ($P > 0.05$). However, the percentage of chicken in egg mass was significantly higher ($P < 0.01$) in BPR (67.21%) than in RIR (65.96%), WR (65.46%) and WLH (65.17%). Statistically very significant ($P < 0.001$) positive coefficients of phenotype correlation were found between egg mass and (normal) chicken mass, while negative coefficients of correlation were found between egg mass and chicken percentage, but these were not significant. However, Farooq et al. (2001) found a significantly lower average egg mass (53.94 g) and chicken mass (35.32 g) in Rhode Island Red breed reared in a farm, while chicken in egg mass was 65.94%. The average egg length was 5.57 cm and width 4.19 cm (length/width = 1.33). The statistically important correlation ($P < 0.05$) was found Between egg mass, length and width, like

between egg and one-day-old chicken masses ($r= 0.496$). In the same breed (RIR), Witt and Schwalbach (2004) found an average egg mass 67.8 g (heavy) and 47.8 g (middle), hatched chicken egg 40.9 g and 33.8 g, and the chicken percentage in egg mass 70.76% and 70.56%. In the other hen breed (New Hampshire), egg mass was 58.3 g (heavy) and 48.7 g (middle), chicken mass was 40.0 g and 34.6 g, while chicken percentage was 72.04% and 71.05%.

Miclea and Zahan (2006) determined the effect of egg weight on hen weight and hen percentage in egg weight of Ross SL 2000 crossbred parents reared between 35th and 49th weeks. Chickens with mass 38.11 g were hatched out of small eggs (average mass 54.59 g), chickens whose mass was 40.74 g were hatched out of middle eggs (58.89 g), and 43.18 g chickens were hatched out of large eggs (63.10 g). Therefore, the largest egg mass loss during the incubation period was in large eggs, i.e. the largest proportion of chicken in egg mass was in small eggs (69.81%), followed by middle eggs (69.17%) and the smallest proportion was in large eggs (68.43%). Similar results were found by Luquetti et al. (2004), Vieira et al. (2005), Almeida et al. (2006), Wolanski et al. (2007), Đermanović (2010) in broiler hybrid parents Ross 308 and Cobb 500. The largest relative proportion of chicken in egg mass was found in 27-week-old parents (74.63%), and the smallest in 60-week-old parent flock (65.58%). Phenotype correlation between observed indicators of examined hybrids was similar to that in pure breeds that were found by Islam et al. (2002) and Farooq et al. (2001). Namely, a positive phenotype correlation was found between parents age, egg mass and chicken mass, while a negative correlation with different significance thresholds was found between egg mass and chicken percentage in egg mass.

Đermanović et al. (2012) examined the mean values, variability and difference significance between the observed parameters of the analyzed chicken breeds in their study. The researchers used New Hampshire and SK-Sombor Bodywork breeds. They found that there was no significant difference between the breeds in terms of egg mass and egg shape index, whereas egg length and width promoted a statistical difference ($P<0.05$). The same researchers also stated that there was no statistical difference in egg mass and shape index values in both fertile and infertile eggs. Detailed results of comparative studies of productive and reproductive traits of Sombor Kaporka and New Hampshire widely bred in the Republic of Serbia are given by Đermanović et al. 2012 and Mitrović et al. 2014. Both breeds were reared in a free range i.e. semi-extensive housing system. Essentially, the authors observed the carrying capacity (egg production) in a certain time period (60 days), egg mass, external egg characteristics (length, width and egg shape index), mass of the chickens laid in a natural – traditional way and a relative proportion of chicken in egg mass. In addition, coefficients of phenotype correlation and the relation intensity were found between the majority of observed indicators. They reported that New Hampshire and Sombor Kaporka breeds showed satisfactory productivity and reproductive performance while kept in semi-coverage housing system, and both breeds could be used successfully in organic poultry production (Đermanović et al. 2012; Mitrović et al. 2014). Besides, the authors emphasized that better incubation results are achieved during natural laying (under the

clucking hen) than in artificial egg incubation, especially regarding the hatchability percentage of fertilized eggs and relative chicken proportion in egg mass (chicken %).

Đermanović et al. (2013) and Đermanović and Mitrović (2013) examined phenotype variability of external quality characteristics of breeding eggs (egg mass, length, width and egg shape index) of Partridge Italian and Leghorn reared in the semi-intensive system. The eggs of Partridge Italian, compared to Leghorn eggs, had greater mass (62.25 g- 61.01 g), greater length (55.72 mm-55.19 mm) and width (42.15 mm-41.99 mm), while the egg shape index (width/length x 100) was insignificantly higher in Leghorn eggs (76.08%-75.65%), but the differences were not significant ($P>0.05$). Senčić and Butko (2006) researched 2 groups of hybrid hens - Lohmann Brown. The first group was conventionally (intensively) reared, i.e. in cages (550 cm²/laying hen). The other group was reared in a free-range system, so it had a permanent access to the pasture. There were seating bars, feeding, water troughs and nests in the hennery. The population density of the hennery was 7 hens per m² of the floor, while the pasture size per hen was 15 m². The production of eggs in both groups of hens lasted 52 weeks. Free range hens, compared to those kept in cages, laid lower number of eggs (266:295), daily consumed more food (129g: 115g), had higher mortality (6.80%: 5.50%) and lower body mass at the end of production (1.95kg: 2.10kg). The eggs laid by free range hens had significantly ($P<0.01$) higher mass (62.59g: 60.50g), had thicker shell (0.36mm: 0.34mm) and more intensive yolk colour.

According to Rizzi and Chiericato (2005), a study was conducted with two domestic breeds of Rovigo (ER), Robusta Maculata (RM) and Ermellinata, which were grown following organic production principles using Hy Line Brown (HLB) and Hy Line White (HLW) hybrid lines. In the study, egg mass and quality were determined in 30 and 42 weeks old laying hens. The age of laying hens of all observed lines had a highly significant ($P<0.01$) effect on the egg mass increase, yolk color, relation between yolk and whites and decrease in the percentage of whites. The mentioned authors observed the chemical composition of yolk in the same lines and breeds.. The genotype had an important effect on the content of proteins, fats and ash in an egg. The greatest influence on protein and low fat content was found in RM and HLW. In HLW, egg yolk had a significantly higher ash content compared to other genotypes. Also, the genotype had a highly significant ($P<0.01$) effect on the cholesterol level in autochthonous breeds RM and ER.

Fatty acids profile in the yolk was influenced by genotype. In other words, the capability of laying hens to build fatty acids into yolk was genetically defined. Other authors' papers also showed that fat metabolism was influenced by laying hens' age and genotype besides nutrition. This is very important because eggs are present in human nutrition (Bean and Leeson, 2003). The expressed productive characteristics and determined egg quality of the laying hens reared in the free-range and cage housing systems are given in tables (Table 1 and 2). Based on the results, the authors argued that laying hens in the free range housing system, in comparison to those in the cage system, carried lower number of eggs (266-295), daily consumed more food (129-115 g), spent more food per kg of egg mass (2.83-2.35 kg), had higher mortality (6.80- 5.50 %) and smaller body mass at the end of production cycle

(1.95-2.10 kg). The eggs from the free-range system compared to the eggs from the cage system had a significantly bigger mass (62.40-60.50 g), a thicker shell (0.36-0.34 mm) and more intense yolk color (12.00- 10.00 Roche).

Table 1. Egg quality in free range and cage hen housing system (Senčić and Butko, 2006)

Characteristics	Free range system		Cage system		Significance
		S		S	
Egg mass (g)	62.40	3.10	60.50	3.40	**
Egg shell thickness (mm)	0.36	0.02	0.34	0.02	**
Yolk index (%)	45.40	3.05	45.50	3.05	Ns
Whites index (%)	76.70	21.00	76.40	21.00	Ns
Yolk colour (1-15)	12.00	0.75	10.00	0.75	**
Haugh units	75.50	4.30	72.00	4.30	Ns
Yolk pH	5.95	0.10	5.90	0.10	Ns
Whites pH	8.80	0.08	8.75	0.08	Ns
Total cholesterol in yolk (mg/g)	12.10	0.25	12.15	0.25	Ns

^{ns}P>0.05; **P<0.01.

Table 2. Productive characteristics of laying hens in the free-range and cage housing system (Senčić and Butko, 2006)

Characteristics	Free range system	Cage system
Egg number per housed laying hen	266	295
Average egg mass (g)	62.40	60.50
Egg mass (kg)	16.60	17.84
Daily food consumption (g)	129.00	115.00
Food conversion (kg)	2.83	2.35
Mortality (%)	6.80	5.50
Body mass at the end of carrying (kg)	1.95	2.10

Upon regarding other analyzed indicators of egg quality (Haugh units whites index, whites pH, yolk index, yolk pH and total cholesterol in yolk), no important differences were found between free-range and cage housing system (P>0.05). The authors think that, the rentability of egg production in the free-range system would mostly depend on the production value on the market. However, this argument can be taken with a pinch of salt, because the chemical composition and nutritive egg value were not examined and they would have to be taken into account in order to grade in a more concrete way the quality of eggs produced by laying hens housed in a free-range system and to provide the economic justification of this type of production.

2.2. The Results of Organic Meat Production

Some authors compared different production systems, i.e. conventional (intensive) and organic production from the aspect of converting one into another, and consumer affordability of the products. Pandurević et al. (2014) gave, in a form of review, a comparison of conventional and organic poultry production through the analysis of chicken meat quality. They pointed out the fact that the conversion

from one type of production into another strongly influenced the animal welfare, economic, ecological and social circumstances in meat production. Consumers believe that, the quality of the food originating from organic production is superior to that of the food originating from conventional production (Lampkin, 1990). Consumers often argue that chicken meat is a healthier option compared to the meat of other animal species on the market (Harper and Makatouni, 2002; Castellini et al. 2008). According to Castellini et al. (2002b), natural requirements being met during chicken fattening and an increased chicken activity could contribute to lower fat content in chicken meat. Unlike developed countries, especially the EU member states, the Republic of Serbia and the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina) only have a limited number of the published studies that directly deal with this subject, although in recent decades growing attention has been paid to the preservation of autochthonous poultry breeds and classes in order to keep and actively include them into the production of organic broiler meat in the semi-intensive, semi-extensive and extensive housing system. This is supported by the many studies (Pavlovski et al. 2009; Mitrović et al. 2011a). For instance, the aim of the research done by Pavlovski et al. (2009) was to determine the increase in body weight and carcass parameters of naked neck chicken grown in Serbia, and of the French hybrid of naked neck layer fattened in extensive systems until the 91st and until the 98th day of age respectively. Bogosavljević-Bošković et al. (2010) investigated the slaughtering parameters and chemical compound of broiler meat of hybrid Hybro G (fast growing) broiler fed in two house systems (free-range and wide-closed) until day 56.

The expressed fattening (Mitrović et al., 2011a) and slaughter (Mitrović et al., 2012) characteristics (results) of observed classes of hens were studied. As an addition to more detailed research on this subject, Mitrović et al. (2011a; 2012) simultaneously observed that carcass parameters of 2 domestic (native) classes (white class of Naked Neck and black class of Svrljig) fattened in a semi-intensive system, until the 84th day of broilers' age in order to produce organic meat. The chickens were kept in a closed facility on the floor with a bedding (around 8 heads/m²) until the 28th day, after a period of free grass space was provided - paddock, around 4 m² per head. In both broiler classes and both genders (total 56 chickens) of 84 days of age, the following parameters were found: body mass at slaughter, carcass mass, proportion- contribution of breast, drumstick and head, back, thigh, wings, pelvis, neck, abdominal fat and giblets. Based on the results showed in the tables above, the authors argued that broiler chickens of both genders of white naked neck reared in the semi-intensive system at the end of fattening compared to Black Svrljig had important higher ($P < 0.05$) proportion of thighs and drumsticks (34.20-33.93%), and lower proportion of back and pelvis (26.34-26.97%), while live body mass was insignificantly bigger (1587.07-1562.28 g) ($P > 0.05$), the contribution of carcasses ready to grill was approximately equal (61.73-61.99%), and the found differences were not statistically confirmed ($P > 0.05$). In addition to the genotype (breed, class), the gender significantly influenced the body mass, carcass contribution, proportion of thighs and drumsticks, wings, head, legs, giblets and abdominal fat. Namely, male chickens had bigger live mass, mass of processed carcasses, proportion

of pelvis, back, head, neck, thighs and drumsticks, legs and giblets, while female chicken had higher relative proportion of processed carcasses, breast, abdominal fat and wings.

Having analyzed carcass characteristics of 2 native classes (White Naked Neck and Black Svrlijig) reared (kept) in a semi-intensive system and fattened until day 84, the authors (Mitrović et al., 2011a) argued that, both in the Republic of Serbia and in the surrounding countries had convincing results regarding observed indicators in both classes, and they could be used in the semi-intensive system i.e. in the production of good quality organic broiler meat, according to the organic livestock production law and standards of the EU. As a contribution to this type of research, the results obtained by Bogosavljević-Bošković et al. (2008) can be used. They examined the chemical composition of the chicken meat reared extensively in the poultry house and in the free-range system. Same authors analyzed the chemical composition of white meat (breast muscles) and dark meat (leg muscles) in two groups of broiler chickens. Both chicken groups were reared in a closed facility (poultry house) until day 28. From day 28 to 56, one group was reared extensively (in a closed facility), and the other one freely. The results showed that, free range was more favorable since there was a significantly higher protein content and lower fat content in white and dark chicken meat, therefore a higher fat content and comparably lower protein content was found in the meat of female in comparison to male chickens. Unlike domestic, a significant number of studies of foreign authors was conducted in order to find the most convenient breed, class or hybrid for organic (ecological) production of poultry (broiler) meat in a particular housing system – fattening (semi-intensive, semi-extensive, extensive) with provided suitable food and optimal duration of the fattening period. For example, Van Marle-Koster and Webb (2000) investigated the carcass parameters of six domestic lines (Naked Neck and one domestic line) until the 77th day. In one study, a significantly lower mass (1670 g) was found in the Robusta macula (Italian strain) after 81 days of fattening (Castellini et al. 2002a).

In a study, 2 slow-growing classes, Isa S 457 brown hairy and Isa J 957-white fed up to day 84, and fast-growing Hubbard JV-white and Ross 308-white were added (Grashorn, 2006). Faria et al. (2010) estimated the parameters of carcasses of male and female broilers of 2 classes slaughtered on different days reared in the semi-extensive system, while Castellini et al. (2002a) examined the effect of organic and conventional system on the contribution of carcasses and meat quality of male broiler chicken. In addition to these authors, interesting pieces of research were done by Lichovníková et al. (2009), who gave a comparative review of growth performance and carcass parameters results of two genotypes of male chickens (Isa Brown; slow-growing) and Ross 308 (fast-growing), fattened until 90th day of age.

In a study, the fattening and carcass parameters of slow growing SG (Hubbard JA957) and fast growing FG (Hubbard F15) hybrids fed in paddock (O), until the 65th day were investigated (Mikulski et al. 2011). The average mass in slow-growing hybrids (SG) reared in the facility and in paddock was equal (3.64 kg) and in facility and fast-growing (FG) was similar (O-4.40 kg, I – 4.41 kg). The authors argued that the system of keeping (fattening) had no influence on the final body mass in both

genotypes. However, at the end of the study, it was observed that, slow growing broilers had lower slaughter efficiency than fast growing broilers ($P>0.05$). Meat of the chickens from paddock (O) compared to chickens from the closed facility (I) was darker in breast and drumstick, had higher protein content in breast (O-24.73% I-23.79%) and drumstick (O-19.43%, I-19.01%), and a better ability of water binding. Similar research was conducted (Takahashi et al. 2006; Coelho et al. 2007; Larivière et al. 2009) in various genotypes, i.e. various age of broilers at slaughter.

However, based on the latest research, it can be said that Sirri et al. (2011) analyzed in much detail the production of organic poultry meat, in accordance with the EU regulations (European Commission, 1999) in Cobb 700 (FG), Naked Neck (MG) and Brown Classic Lohmann (SG). The fattening period lasted 81 days (FG and MG), i.e. 96 days in SG (Table 3).

On the grounds of the results shown in table 3, Sirri et al., (2011) argued that the choice of breed and hybrids (genotype) in organic poultry meat production strongly influenced the slaughter values, i.e. characteristics of meat (final body mass, processed carcass mass, slaughter yield, contribution and proportion of basic carcass parts, pH, color, cooling weight loss, boiling weight loss and collagen proportion) and chemical composition of breast and drumstick meat (moisture, protein, fat, ash and proportion of certain fatty acids). Finally, the authors gave a general statement that genotype had a significant effect on functional characteristics (organoleptic features) and nutritional value (chemical composition) of meat ($P<0.05$).

Table 3. Slaughter characteristics of fattened chickens of different genotypes (Sirri et al., 2011)

Parameters	Genotypes		
	FG	MG	SG
Body mass at the end of fattening (g)	5198	2642	1807
Processed carcass mass (g)	3550	1655	1029
Slaughter randman-ready to roast (%)	69.2	62.6	56.8
Breast proportion (%)	20.7	10.1	8.0
Proportion of thighs and drumsticks(%)	22.0	23.2	21.6
Wings proportion (%)	6.8	8.2	8.2

3. Conclusion

To sum up, in ecological forms of production which include organic agriculture, the existing agronomic knowledge must be supplemented with biological and ecological findings that make it possible for this type of production to protect agro-ecosystem and ecosystem. This is particularly emphasized by the positive law of the EU through regular harmonization of factual and legal framework, frequent changing and specifying of production areas, subjects and goals, in order to provide as complete as possible regulations and prevention of possible damage in livestock production (Commission Regulation (EC) No 889/2008).

Organic livestock is a development of this economic branch without disrupting relations in natural communities, without importing exotic animals and with limited application of products which follow

animal production including therapeutic agents. This type of production is not a classic extensive production (although it possesses certain characteristics of that system). It is rather intensive with the acceptance of limitations set by the habitat. The pollution is limited in the habitat itself which provides the preservation of the whole biological community, the satisfactory income and the possibility of developing additional activities such as tourism. Organic agriculture results in products of high values that are marked as organic food which increases the item price reduces consumer health risks and provides the entrance on all global markets. Accordingly, this production requires hiring more workforce, which is a very positive occurrence in the contemporary global trends of depopulating rural communities.

Fundamental principles of organic livestock production, among other things, are related to the welfare of domestic animals, which inherently means the preservation of their health, the production of animal products of high (ecological) quality with the aim of setting up and organizing ecologically acceptable production. Organic livestock production meets the needs of the ever-growing number of consumers who do not support conventional (intensive) production (Sundrum, 2001). In a significant number of countries, the consumers are ready to pay more for organic animal products, which means planned organization of livestock production which would preserve certain plant and animal breeds (biodiversity) and regional environment, with favorable economic consequences (Philips and Sorensen, 1993; Knauer, 1995; Mignolet et al., 1997). With the aim of boosting production and consumption of organic products, the European Commission has presented an action plan for the development of organic production whose final goal is to make at least one quarter of the EU agricultural land as organic. In this way, the EU strategy 'from field to table' is additionally supported, and this is all in accordance with the European Green deal and Common Agricultural Policy (COM2021/141 Final/2, COM/2019/640 Final).

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Author Contribution Statements

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

4. References

- Almeida JG., Dahlke F., Maiorka A., Aria Filho DE., Oelke CA. Effect of broiler breeder age on hatching time, chick permanence time in hatcher and chick weight. *Archives of Veterinary Science* 2006; 11(1): 45-49.
- Apostolov N. Comparative analysis of physical characteristics of eggs with whole and damaged shells in light and heavy type layers. *Zbornik radova "Živinarski dani 1976"*, Oteševo, Macedonia 1976; 352-361.

- Apostolov N., Apostolov D. Relation between egg shell deformation and hatchability of White Rock eggs. Zbornik radova "Živinarski dani 1976", Oteševo, Macedonia 1976; 392-397.
- Bean LD., Leeson S. Long-term effects of feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens. *Poult. Sci.* 2003; 82: 388-394.
- Bogosavljević-Bošković S., Mitrović S., Petrović DM., Đoković R., Dosković V. Uticaj uzrasta i sistema držanja na odabrane parameter kvaliteta mesa pilića u tovu. *Savremena poljoprivreda* 2008; 57(3-4): 137-143.
- Bogosavljević-Bošković S., Mitrović S., Đoković R., Dosković V., Đermanović V. Chemical composition of chicken meat produced in extensive indoor and free range rearing systems. *African Journal of Biotechnology* 2010; 9(53): 9069-9075.
- Castellini C., Dal Bosco A., Mugnai C., Bernadini M. Performance and behavior of chickens with different growing rate reared according to the organic system. *Italian Journal of Animal Science* 2002a; 1: 291-300.
- Castellini C., Mugnai C., Dal Bosco A. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science* 2002b; 60: 219-225.
- Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duvan E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free – range poultry meat. *World's Poultry Science Journal* 2008; 64: 500-512.
- Coelho AAD., Savino VJM., Rosário MF., Silva MAN., Castihlo CJC., Spoto MHF. Características de carcaca e da carne de genotipos de frangos caipiras. *Brazilian Journal Food Tehnology* 2007; 10 (1): 9-15.
- Commission Regulation (EC) No 493/1999 of 5 March 1999 amending Regulation (EC) No 1484/95 laying down detailed rules for implementing the system of additional import duties and fixing additional import duties in the poultrymeat and egg sectors and for egg albumin, and repealing Regulation No 163/67/EEC, *Official Journal L* 59, 6.3.1999; 15–16
- Commission Regulation (EC) No 889/2008 of 5 September 2008 laying down detailed rules for the implementation of Council Regulation (EC) No 834/2007 on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control, *OJ L* 250, 18.9.2008, p. 1–84
- Communication from Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions the European Green Deal, Com/2019/640 Final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and Committee of the Regions on an Action Plan for the Development of Organic Production, Com/2021/141 Final/2, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0141R%2801%29>

- Đermanović V. Fenotipska varijabilnost povezanost proizvoda – reproduktivnih osobina teških linijskih hibrida kokoši Cobb 500 I Ross 308. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- Đermanović V., Đekić V., Mitrović S., Rajović M., Mitrović M., Pandurević T. Usporedni prikaz kvaliteta jaja za nasad Somborske karorke I Njuhempšir rasa kokoši gajenih u poluekstenzivnom sistemu. Zbornik Naučnih Radova 2012; 18(3-4): 123-129.
- Đermanović V., Mitrović S., Đekić V., Mitrović M. Ocena kvaliteta priplodnih jaja leghorn rase kokoši gajene u polekstenzivnom sistemu. Zbornik Naučnih Radova 2013; 19(3-4): 173-178.
- Đermanović V., Mitrović S. Phenotype variability of external quality traits of fertile eggs of partridge Italian bread in semi extensive breeding system. Biotechnology in Animal Husbandry 2013; 29 (3): 477-482.
- Faria PB., Bressan MC., Souza XR. de, Rossato LV., Botega LMG., Gama LT. da. Carcass and parts yield of broilers reared under a semi – extensive system. Brazilian Journal of Poultry Science 2010; 12(3): 153-159.
- Farooq M., Durrani FR., Aleem M., Chand N., Muqarrab AK. Egg traits and hatching performance of Desi, Fayumi and Rhode Island Red chickens. Pakistan Journal of Biological Sciences 2001; 4 (7): 909-911.
- Grashorn MA. Fattening performance, carcass and meat quality of slow and fast growing broiler class under intensive and extensive feeding conditions. XII European Poultry Conference, Verona, 10 – 14 September 2006, paper no. 10236.
- Grobbelaar JAN. Egg production potentials of four indigenous chicken breeds in South Africa. Magister thesis, Tshwane University of Technology, 2008.
- Grobbelaar JAN., Sutherland B., Molalagotla NM. Egg production potentials of certain indigenous chicken breeds from South Africa. Animal Genetic Resources 2010; 46: 25-30.
- Harper GC., Makatouni A. Consumer perception of organic food production and farm animal welfare. British Food Journal 2002; 10: 287-299.
- Hovi M., Sundrum A., Thamsborg SM. Animal health and welfare in organic livestock production in Europe: current state and future challenges. Livestock Production Science 2003; 80: 41-53.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, <http://www.fao.org>
- International Federation of Organic Agriculture Movements – IFOAM, <http://www.ifoam.bio>
- Islam MS., Howlader MAR., Uddin MS., Kabir F., Alam J. Study on reproductive parameters of Barred Plymouth Rock, White Leghorn, Rhode Island Red and White Rock breed of cock. Online Journal of Biological Science 2002; 2(9): 605-607.
- Knauer N. Ökologische Anforderungen in Agrarlandschaften. Agrarspectrum 1995; 24: 9-24.
- Lampkin NH. Organic farming. Farming press. Ipswich, 1990.

- Larivière JM., Farnir F., Detloux J., Michaux C., Verleyen V., Leroy P. Performance, breast morphological and carcass traits in the Ardennaise chicken breed. *International Journal of Poultry Science* 2009; 8(5): 452-456.
- Lichovniková M., Jandásek J., Jüzl M., Dračková E. The meat quality of layer males from free range in comparison with fast growing chickens. *Czech. J. Anim. Sci.*, 2009; 54(11): 490-497.
- Luquetti BC., Gonzales E., Bruno LDG., Furlan RL., Macari M. Egg traits and physiological neonatal chick parameters from broiler breeder at different ages. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2004; 6(1): 13-17.
- Marinković V., Šrajber L., Žigić L., Mašić B. Examination of the effect of restricted feeding and simultaneous application of the vitamin-antibiotic additive on the reproductive performance of heavy type breeders. *Zbornik radova, Živinarski dani 1972*”, Belgrade, Serbia. 347-353.
- Mašić B., Žigić L., Šrajber L., Marinković V. Investigation of periodically forced molting of White Rock and New Hampshire hens in a two-year laying. *Veterinaria* 1970; 58-65.
- Mašić B., Pavlovski Z. Mala jata kokoši nosilja u različitim sistemima držanja. *Naučni institut za stočarstvo, Beograd-Zemun*, 1994.
- Miclea V., Zahan M. Egg weight influence on the incubation of light hen breeds eggs. *Buletin USAMV-CN* 2006; 63: 107-110.
- Mignolet C., Saintot D., Benoit M. Livestock farming system diversity and groundwater quality modeling at a regional scale. In: Sörens J. T. (Ed), *Livestock Farming System. More than food Production*. EAAP, 89,313/318, 1997.
- Mikulski D., Celej J., Jankowski J., Majewska T., Mikulska M. Growth performance, carcass traits and meat quality of slower – growing and fast – growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian – Aust. J. Anim. Sci.*, 2011; 24(10): 1407-1416.
- Milošević N., Perić L., Strugar V., Žigić D., Pavlovski Z. Rearing of fattening chickens on free range and extensively in chicken coop. *Biotechnology in Animal Husbandry* 2005; 21(5-6): 217-221.
- Mitrović S., Ostojić Đ., Đermanović V., Pandurević T., Jež G. Carcass characteristics of Naked Neck male and female chickens fattened in semi-intensive system. 22 *International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry, Book of Abstracts*, 35, September 28- October 1, Sarajevo, 2011a.
- Mitrović S., Đermanović V., Pupovac S., Ostojić Đ., Rajović M. Incubation value of eggs domestic class grown in chicken rural areas our country. *Proceedings of Research Papers* 2011b; 17(3-4): 149-155.
- Mitrović S., Bogosavljević Bošković S., Đermanović V., Perić L., Jokić Ž., Pandurević T. Poluintenzivni tov golovrate kokoši, organska proizvodnja živinskog mesa. *Zbornik radova, XVII Savetovanje bioteknologa sa međunarodnim učešćem, Čačak* 2012; 17(19): 304-309.
- Mitrović S., Đermanović V., Đekić V., Milivojević V., Simić D. Comparative studies on the reproductive and productive traits of New Hampshire and Sombor Crested chicken breeds

- reared in semi – extensive production system. Proceedings of the International Symposium on Animal Science, Beograd – Zemun, Srbija, 61-67, 2014.
- Organic production law - Official Gazette of RS, No. 30/2010 and 17/2019
- Pandurević T., Mitrović S., Ristanovic B. Quality of chicken meat from conventional and organic production. Fifth International Scientific Agricultural Symposium “Agrosym 2014” Jahorina, October 23-26, 2014, Bosnia and Herzegovina.
- Pavlovski Z., Mašić B. Mogućnost racionalizacije ekstenzivnog i poluintenzivnog sistema držanja živine sa aspekta proizvodnje prirodne i zdrave hrane. Poljoprivreda 1990; 384-349.
- Pavlovski Z., Škrbić Z., Lukić M., Petričević V., Trenkovski S. The effect of genotype and housing system on production results of fattening chickens. Biotechnology in Animal Husbandry 2009; 25(3-4): 221-229.
- Philips CJ., Sorensen JT. Sustainability in cattle production systems. J. Agric. Environ. Ethics 1993; 6: 61-73.
- Rizzi C., Chiericato GM. Organic farming production. Effect of age on the productive yield and egg quality of hens of two commercial hybrid lines and two local breeds. Italian Journal of Animal Science 2005; 4(sup3): 160-162.
- Senčić Đ., Butko D. Proizvodnost nesilica i kvaliteta kokošijih jaja iz slobodnog držanja. Agriculture 2006; 12(2): s 48-51.
- Sirri F., Castellini C., Bianchi M., Petracci M., Meluzzi A., Franchini A. Effect of fast-medium- and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. Animal 2011; 5(2): 312-319.
- Sorensen PI., Kjaer JB. Noncommercial hen breed tested in organic system. Ecological animal husbandry in the Nordic countries. Proceeding of NJS-Seminar 2000; 303: 59-63.
- Sundrum A. Organic livestock farming. A critical review. Livest. Prod. Sci. 2001; 67: 207-216.
- Supić B., Milošević N., Konjević S., Perić Lidija, Mitrović S., Dimitrijević P., Savić D. Očuvanje autohtonih rasa živine u Vojvodini. Savremena poljoprivreda 1997; 46(3-4): 157-162.
- Takahashi SE., Mendes A., Saldanha ESPB., Pizzolante CC., Pelicia K., Garcia RG. Efeito de sistema de criação sobre o desempenho e rendimento de carcaca de frangos de corte tipo colonial. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinaria e Zootecnia 2006; 58(4): 624-632.
- Tolimir N., Anokić N., Mitrović S., Milojković M., Mašić B. Spoljašnje i unutrašnje osobine jaja nekih populacija autohtonih kokoški istočne Srbije. Savremena poljoprivreda 1997; 46(3-4): 168-173.
- Van Marle-Koster E., Webb CE. Carcass characteristics of South African native chicken lines. South African Journal of Animal Science 2000; 30(1): 53-56.
- Vieira SL., Almedia JG., Lima AR., Conde ORA., Olmos AR. Hatching distribution of eggs varying in weight and breeder age. Brazilian Journal of Poultry Science 2005; 7(2): 73-78.

- Witt F., Schwalbach LMJ. The effect of egg weight on the hatchability and growth performance of New Hampshire and Rhode Island Red chicken. *South African Journal of Animal Science* 2004; 34: 62-64.
- Wolanski NJ., Renema RA., Robinson FE., Camey VL., Fancher BI. Relationships among egg characteristics, chick measurements, and early growth traits in ten broiler breeder class. *Poultry Science* 2007; 86: 1784-1792.
- Žigić L., Šrajber L., Mašić B., Marinković V. The effect of forced molting on physical properties and inner quality of eggs layed by New Hampshire hens. *Veterinaria* 1970; 68-71.

Modernleşmenin Sembolü Tarihi Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesi

Murat Erdal DERE^{1*}

¹Dr. Mimar, 48000, Muğla

¹<https://orcid.org/0000-0001-6943-127X>

*Sorumlu yazar: muraterdaldere@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.01.2022

Kabul tarihi: 09.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Mimari

Rölöve

Muvakkithane

Saat kulesi

Zaman

Modernleşme

ÖZ

İnsanlar, zamanı var olmalarından itibaren, yeryüzünde meydana gelen tabiat hadiselerinin süreçler çerçevesinde vukuu bulduğu mekânla ilişkilendirilerek anlamlandırmaya çalışmışlardır. Medeniyetler geliştikçe de kendi anlam dünyalarından neşet eden bir varlık tasavvuru geliştirmiş ve zamanı mekânla ilişkilendirerek onu dilimlemeye başlamışlardır. Bu dilimlemeyi yani zamanı tayin etmeyi, zamanın mekâna yansması olarak adlandırıyoruz. İslam Medeniyetinin son temsilcisi Osmanlı Devleti muvakkithaneyle zamanı mekâna yansıtmış ve modernleşmeyle de mekanik zamanı saat kulelerine yansıtmıştır. Bu bağlamda kendi kültürümüzde zamanın mekâna yansımalarını konu edinerek incelemiş ve çalışmamız kapsamında zamanın Muğla'ya mekânsal olarak yansması araştırılmıştır. Muğla Muvakkithanesi ve Saat Kulesinden hareketle, tarihi muvakkithane ve saat kuleleri gibi taşınmaz kültür varlığı mimari eserleri anlayarak yeni fonksiyonlarla kültür hayatımıza tekrar kazandırılmaları amaçlanmıştır.

The Symbol of Modernization Historical Muğla Clock Tower and Muvakkithane*

Review Article

Article History:

Received: 21.01.2022

Accepted: 09.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Architecture

Survey

Muvakkithane

Clock towers

Time

Modernization

ABSTRACT

People have tried to make sense of time by associating it with the space in which the natural events that started with the existence of humans and occurred on earth took place within the framework of the processes. As civilizations developed, they developed a conception of being that emerged from their own world of meaning and began to slice it by associating time with space. We call this slicing, that is, determining time, the reflection of time on space. The last representative of the Islamic Civilization, the Ottoman Empire reflected time to space with the Muvakkithane*, and reflected mechanical time to the clock towers with modernization. The reflection of time, which originates from civilizations and reflects one's own culture, on space was examined and, within the framework of our study, the spatial reflection of time on Muğla was explored. Our goal is to understand immovable cultural assets such as the historic Muvakkithane and Clock Towers and to bring them back into our cultural life with new functions.

* Muvakkithane: the place where time is determined

To Cite: Dere M. Modernleşmenin Sembolü Tarihi Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1890-1911.

1. Giriş

İnsanlık tarihi boyunca, zaman üzerine ciddi tartışmalar yapılmıştır. Bu tartışmalar; zamanı hareketle özdeşleştirenler, zamanın vehimden bir izlenim mi yoksa hakikat mi olduğunu düşünenler ve zamanın hareketten bağımsız cevher mi yoksa araz mı olduğu fikrinde olanlar şeklinde devam etmiştir. Zaman ise medeniyetlerin tasavvurlarına göre şekillenmiş ve onlara göre bir bütün içinde açıklanmaya çalışılmıştır. Zaman kavramını anlayabilmek için öncelikle tarihe yön veren kadim medeniyetlerde zaman anlayışına değinmek faydalı olacaktır.

Kadim medeniyetlerin doğduğu ve oradan tüm dünyaya yayıldığı Mezopotamya ve Mısır'da pratik manada yeryüzünde meydana gelen tabiat hadiselerinin menşei zaman ve mekânla ilişkilendirilerek, üst bir düşünceye taşınarak açıklanmaya çalışılmıştır. Bu kadim medeniyetler “zamanı” bireyselleştirilmiş gök cisimlerinden, yani güneş ya da ay tanrısının dairesel dönüşüm sürecine katılması ve onunla bir şekilde ilişkilendirilmesi ile yeryüzüne yansıdığını kabul etmişlerdir. Yani yeryüzünde cereyan eden fiziki hadiseleri metafizik kavramlarla mana vermeye çalışmışlardır. Toprağın işlenmesi, hasat ve ürünün toplanması gibi hadiseler kadar her şeyin kendine özgü bir vakti olduğu gibi, bu vakitleri belirlemek de yaşamın devamı için elzemdir.

İlk şehrin ve şehirlerin kurulduğu kabul edilen kadim Mezopotamya medeniyetinde ay, en ulu Tanrı olarak kabul edildiğinden ay takvimi kullanılmıştır. Bu medeniyet için ay, güvenlik sükûnet manasına gelirken, güneş ise kuraklık ve açlık getiren, dolayısıyla kötülüğün menşei kabul edilmiştir. “Ay hareketleri dairesel zaman tasavvurunun oluşumunda temel bir manaya sahiptir. Ayın sürekli değişen şekli, zamanın sürekliliğine işaretler. Ayın dönemlere göre kaybolması ve yeniden ortaya çıkması insan hayatına uyarlanmıştır” (Eliade, 1953). Mezopotamya medeniyetinde evren kararsız bir varlık olarak görülür ve ancak yapılacak ritüellerle düzenli hale geldiğine inanılmıştır. “Yeni yılın oluşması burada yeni bir yaratmanın başlaması ile eş anlamlıdır, sürekli kesintisiz yaratmadır ve bu yaratma zamana bağlı olarak ortaya çıkmaktadır” (Toprakkaya, 2013).

Nil'in sularının taşması Mısırlıların evreni, kendi durumlarından tekrar eden bir oluş süreci olarak görmelerine sebep olmuştur. Mısırlılarda zaman algısı, “Durmadan tekerrür ve geriye dönüş olup sene kavramını ‘kendisini gençleştiren şey’ olarak” (Toprakkaya, 2013) tarif edilmiştir. Bu fiziki olay zamanla mana dünyasına yansımış ve bir Mısır kozmolojisi oluşmuştur. “Mısır kozmolojisinde, yaratılış anlayışı var olan maddeye bir form verme şeklindedir” (Toprakkaya, 2013). Mısırlılarda doğanın bu düzenli ritmi, zaman anlayışına yansımış, güneşin dairevi hareketi ve bu hareketin sürekliliği zamanın tekrarlanan bir şey olduğu inancını ortaya çıkarmıştır. Böylelikle Ra'nın yeryüzünü terk etmesiyle oluşan gece ve tekrar tekrar gözlemlenen bu doğal hareket Mısırlıların varlık tasavvurlarına, inanışlarına ve mimarisine etki etmiştir. Buradan hareketle; Ra'nın dünyayı terk etmesiyle bozulan düzen, bir yapının virane halini temsil eden piramitte kendini gösterdiği sonucuna ulaşmak mümkündür. Çünkü yapılar fiziki olarak genelde hep içine doğru yıkılma eğilimi gösterir ve

yıkıldıklarında ortaya doğru yığılarak yükselirler, tıpkı piramit gibi. Sonuç olarak güneş sonsuz potansiyelin ve reenkarnasyonun bir işareti olarak kabul edilmiştir.

Mezopotamya ve Mısır Medeniyetleri tabiat olaylarından hareketle zamanı takvime yansıtıp, güneş ve ay takvimlerini meydana çıkarmışlardır. Bu detaylı çabaları Yunanlılarda gözlemlemek mümkün olmayıp, onlar zamanı kavramsal olarak açıklamaya çalışmışlardır. Eflatun (Platon), Timaios adlı eserinde (37d) zamanı sonsuzluğun bir resmi ya da gölgesi olarak anlar. Yani “Şeyler zamanı ortaya koymaz, ancak onlar zamanda meydana gelir” (Platon, 2005). Zamanı ezeliyetin hareket halindeki kopyası, yani zamanı göklerin hareketiyle eş anlamlı gören Platon’a Aristoteles “Fizik” adlı eserinin dördüncü kitabında itiraz eder ve “Zaman hareketin kendisi olmayıp, önce veya sonraya göre hareketin sayısıdır”* (Aristoteles, 1995) demiştir. Aristoteles; zaman, mekân, boşluk kavramı olmadan değişim kavramını, dolayısı ile oluş kavramının anlaşılamayacağını iddia etmiştir. Ayrıca ilginç bir tespitte bulunarak “Ölçülen şey, parçalanabilen bir şeydir, dolayısı ile şimdinin kendisi (an) parçalanan zamanın sınırını oluştururken, şimdi zamanın kendisi değildir, çünkü şimdi zamanı ölçen bir şey olmayıp bilakis zamanın diğer kısımlarıyla, yani geçmiş ve gelecek arasındaki bağ olup, onlarla birlikte bir anlam taşır” (Aristoteles, 1995) demiştir.

İlk çağdan beri zaman üzerine yapılan tartışmalar tek Tanrılı dinler döneminde de devam etmiştir. Tek Tanrılı dinler için ibadetlerin belirli vakitlerde edası önemli olduğundan “zaman” hem kavramsal hem de takvimsel olarak ele alınmıştır. Özellikle İslamiyet’te gün içerisinde eda edilecek namazın yanında, senelik oruç, kurban ve hac gibi ibadet vakitlerinin belirlenmesi için yoğun çaba sarf edilmiştir. Kavramsal manada İslam Medeniyetinin ilk filozofu kabul edilen Kindi, zamanı eserlerinde aşağıda verildiği şekilde tanımlamaktadır. “Buna göre:

- a) Zaman alemin var oluş sürecidir.
- b) Zaman hareketin sayısıdır.
- c) Zaman feleğin hareketinin sayısından ibarettir.
- d) Zaman sayıdan başka bir şey değildir, yani hareketi sayan sayıdır.
- e) Zaman hareketin saydığı (belirlediği), cüzleri değişken bir süreçtir.”

(Kaya, 2002), diyerek zamanı beş ayrı şekilde açıklamıştır. Bu tanımlardan hareketle de; “Zamanda hareket vardır; hareket ise bir değişimdir. Değişenin değişme sürecini gösteren sayıdır. Buna göre hareket, değişenin sürecini sayandır. Zaman, hareketin belirlediği bir süreçtir” (Kaya, 2002) diyen Kindi, cisim, hareket ve zamanı sonlu kabul etmekle birlikte zamanın insana nispetle kesintisiz olduğunu iddia etmiştir. Kelam düşüncesinin önemli mihenk taşlarından İhvan-ı Safa zaman kavramı hakkında iki görüş etrafında birleşmiştir. Birinci görüşleri; “Geçmiş zaman geçtiği için, gelecek zaman da henüz gelmediği için yok hükmündedir; şu hâlde zaman gerçek bir varlığa sahip değildir” (Kutluer, 2013) diyen İhvan-ı Safa ikinci görüş için ise; “Yirmi dört saatlik zamanın bütün dilimlerinin yerkürenin farklı boylamlarında daima gerçek olarak yaşandığı, dolayısıyla zamanın sürekli var

* Aristoteles, Cilt 6, 4. Kitap; ‘...die Zeit dar, das Jetzt aber, ebenso wie das Fortbewegte, ist gewissermassen eine Einheit’ 220a, s. 107

olduğu” (Kutluer, 2013) ki bu görüşü benimsemişlerdir ve “İnsan zihninde tümel bir sayı kavramı doğurması gibi gece ve gündüzün dünya çevresinde sürekli peş peşe gelip gitmesi de zihinde mutlak bir zaman formu oluşturur” (Kutluer, 2013), diyerek zamanı tanımlamışlardır. Buna karşın Gazali; “Zaman sonradandır ve yaratılmıştır; ondan önce asla herhangi bir zaman yoktur” (Gazali, 2005) yani alemin başlangıçtaki var oluşundan önce henüz fiziksel zaman yoktur, dolayısıyla zaman ve müddet yaratılmıştır, diyerek bu tanıma itiraz etmiştir.

Sonuç olarak İslam Medeniyetinin kelim geleneğinde ilk dönemden itibaren zamanın; bir araz olarak hareketin, hareket eden cisme, gerçekleştiği mekâna ve hareketin zamanına göre bölündüğü kabul edilmiştir. Buna göre bir hareket olayı, hareket eden cismin her bir parçası için tek bir süreç halinde ayrı ayrı gerçekleşen fiillerden oluşmuştur. Bir cismin parçalarının hareketi diğerinden farklıdır. Aynı şekilde hareket, içinde gerçekleştiği zamana göre de bölünür; şu zamandaki hareketin sonraki zamanda gerçekleşen hareketten başka olduğu kabul edilmiştir. Kelamcılara göre zamanın “an” denilen en küçük birimine ulaşıldığında artık bölünme imkansızdır. İslâm filozofları arasında en yaygın biçimde benimsenen tanım ise; “Zamanın aritmetik sayımını yapacak olan insan zihni olup, zihnin zamanı algılamasını sağlayan ise “önce” ve “sonra” kavramları eşliğinde ardışıklığın farkına varılmasından başka bir şey değildir,” şeklindedir.

Modern zaman anlayışının başlangıcı ve bunu kanunlaştıran Isaac Newton’dur. Newton 1687’de yayınlanan kitabı “Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” (Tabiat Felsefesinin Matematiksel Prensipleri) ile klasik mekaniğin temelini oluşturmuştur. Bu çalışmasında Newton evrensel kütle çekimini ve hareketin üç kanununu ortaya koymuştur. Bunlar;

- **Eylemsizlik Kanunu;** cisme harici bir kuvvet etki etmez ise cisim bulunduğu durumu korur,
- **İvme Kanunu;** cisme etki eden kuvvet cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir ($F[\text{kuvvet}] = m[\text{kütle}] \times a[\text{ivme}]$).
- **Etki-Tepki Kanunu;** her etkiye karşı eşit ve zıt tepki vardır,

şeklindedir. Newton eserinde “Mutlak gerçek ve matematiksel zaman kendi başına akar ve tabiatı gereği hiçbir şeyle ilişkiye girmez. Böyle bir zaman aynı zamanda sürenin kendisidir. İzfai ve alışılmış zaman ise sürenin ölçüsü olarak harici ve hissedilen şeydir. İnsanların kullandığı gün, ay, sene gibi kavramlar gerçek zamanı ifade etmemektedir” (Newton, 1963), diyen Newton, Aristoteles’in zaman kavramına itiraz etmiştir. Newton devamla; “Zaman, tanrısal özelliklere sahip olup; bölünemeyen ve parçalanamayan bir şeydir. Tanrı, ebedilik ve sonsuz olmayıp; ebediliğin ve sonsuzluğun bizzat kendisidir. O her yerdedir ve her zaman varlığını hissettirir, zamanı ve mekânı varlığa getiren odur” (Toprakkaya, 2013), diyerek zamanı özetlemiştir.

Newton doğayı gözlemlerken onu matematik terimleriyle açıklamış, optik üzerine çalışmalarında ışığın hareket ettiğini ve sonlu bir hızının olduğunu iddia etmiştir. Newton’un ışığın hızının sabitliği tezine itiraz eden Danimarkalı Fizikçi Hendrik Lorentz, hareketli nesnelere hareket yönünde daraldığını ve birbirilerine göre hareket halindeki cisimleri referans alan zamanlardaki izafeti

açıklayan yerel zaman, zamanın genişmesi ve dönüşümünü ifade eden meşhur “Lorentz Faktörü” olarak bilinen formülünü yayınlamıştır. Artık zaman sabitlikten ve sonluluktan göreceli hale gelmiş, bu yargı önce mekaniğe sonra mekaniğe eklenen elektrodinamik formüllere, aktarılmış ve Einstein’ın meşhur $E=mc^2$ ’sine, yani “Kütle ile enerjinin denklğine” (Hawking, 2014) dönüşmüş ve bir anlamda Newton’un zaman ve mekân ilişkisine karşı çıkmıştır. Böylelikle “İzafiyet” teorisi modernizm kozmolojisinin temelini oluşturarak, zaman ve mekânın mutlak olmadığı iddiasını taşımaktadır. Einstein ayrıca üç boyutlu koordinat sistemine zamanı dördüncü bir boyut olarak eklemiş ve geometriyi fiziğin konusu haline getirmiştir. Ona göre, “Maddenin gerek geometrik davranışı gerekse saatlerin çalışma biçimi; temelde çekim alanlarına bağımlı olduğu ve bu alanların bizzat maddenin kendisi tarafından üretildiğini” (Einstein, 1965), iddia etmektedir. Fakat bu kuramın süreklilik iddiasına Stephan Hawking; “Roger Penrose ve ben, Einstein’ın genel görelilik kuramının evrenin bir başlangıcı ve muhtemelen de bir sonu olmasının zorunluluğuna işaret ettiğini gösterdik” (Hawking, 2014) diyerek, Einstein’ın teorisine karşı çıkmıştır.

Zamana dair batı merkezli düşüncesinin başında Bergson gelir. Bergson zaman kavramı bağlamında; “Her şeyi ölçmek ve ölçülemeyen şeyleri de ölçülebilir kılmak” (Toprakkaya, 2013) şeklinde olup, zamanın mekâna bağlı olarak üç farklı karaktere sahip olduğunu; “Zaman aralıklarının sayılması, kronolojik ardı ardına gelişte olayların belirli bir şekilde düzene koyulması ve zamanın homojenliğidir” (Toprakkaya, 2013), şeklinde ifade eder. Bergson, zaman ve gerçek zamanın nitelediği süre ayırımını yaparak “Zamanın özü mekânın dördüncü boyutundan başka bir şey değildir ve sadece nicelikten ibarettir” (Toprakkaya, 2013) diyerek, tıpkı İslam Filozoflarının zamanı “Önce” ve “Sonra” kavramları eşliğinde ardışıklığın farkına varılmasından başka bir şey olmadığını söylemiştir.

Salih Uçar ise insan merkezli son sözü; “Fiziki müşahedeler netice itibariyle insan nefsinin anladığı dile dönüştürülüyor ve nefis akıl yürütmesine dayanarak kabul ediyor veya reddediyor. Zaman, doğrudan doğruya nefsin yaşadığı hadiselerin öncelik ve sonralık sırasından ve bu sıranın tersine çevrilmesinden; yani zaman içinde daha önceki bir hale avdet etmenin mümkün olmamasından doğar” (Uçar, 2001) diyerek, belki de modernizmin temel belirleyici unsuru; “sabit hiçbir şeyin kalmaması” fikrine itiraz niteliğini taşımaktadır.

2. Zamanın Mekâna Yansıması

Zamanı ölçmek için başlangıçta aletlere ihtiyaç duyulmuş ve zamanla da bu aletler ya mekân içinde ya da mekâna yansıtılmıştır. Mezopotamya ve Mısır medeniyetlerinde güneş saati kullanıldığı bilinmektedir. Bunun haricinde zamanla gelişen su saati, ateş veya mum saati, kum saati, usturlap ve mekanik saat gibi aletler de kullanılmıştır. “Arkeolojik buluntulara göre güneş saatleri gibi yine ilk defa Mısır’da ortaya çıktığı sanılan su saatlerinin, biri boşalmalı, diğeri batır olmak üzere iki türü bulunmaktadır” (Bir, Kaçar, 2008). Su saati için iki kaba ihtiyaç duyulmuş, kaptan kaba geçişle su seviyesine nispetle zaman belirlenmiştir. Zamanı ölçen diğerk bir düzenek ise, kum saatidir. Kum saati;

cam kabuk içine rutubetsiz kumdan yapılmış ve camın kırılmaması için etrafı ahşap veya metalle korunaklı hale getirilmiş bir düzenektir. Cam kabuğun ortası kum tanesinin geçebileceği darlıkta olup üst kısımdan alta inen kum belirli bir zaman dilimini bilmemize yaramaktadır.

Yıldızları veya gök cisimlerini rasat etmeye yarayan usturlap, “Grekçe astronla (yıldız) lambanein (almak, yakalamak, ölçmek) kelimelerinin birleşimiyle oluşan astrolabos veya astrolabondan Arapçalaşmış ve usturlap ismini almıştır” (Bir, Kaçar, 2012). Usturlap; “Düzlem, davul, yengeç, spiral, cetvel, kayık, haç, maşallah modeli, erensel, küresel ve çubuk ya da çizgisel usturlap” (Bir, Kaçar, 2012) gibi çeşitli türleri vardır. Usturlap, İslamiyet döneminde gök cisimlerinin yanında zamanı tayin etmek için kullanılmıştır. Klasik zamanı ölçen aletlerden sonuncusu “Ateş veya mum saati” olup, günümüz Şırnak’ın Cizre ilçesinde doğmuş olan El Cezeri’nin (1136-1233) 1206 yılında yazdığı Kitabül-Hiyel de dört adet mumlu saat tasviri verilmektedirken bunlardan birinin tasviri: “Mum bir kılıfın içine yerleştirilir ve fitili kılıfın kapağındaki küçük bir delikten dışarıya çıkarılır. Mumun alt ucunun oturtulduğu bir kenarında, içine on beş madeni top konulmuş bir tüp ve tüpün ağzının ensesine açıldığı bir atmaca figürü bulunmaktadır. Altlığın alt yüzeyinin ortasına dikdörtgen kesitli uzun bir çubuk lehimlenmiştir; onun diğer üç tarafını çevreleyen kurşundan bir karşı ağırlık boylu boyunca yukarıdan aşağıya doğru hareket eder. Uçları karşı ağırlığın üst kenarına raptedilmiş iki ip kılıfın kenarlarına tutturulan iki makarada saptırılıp karşı ağırlığın içindeki bir kanaldan geçirildikten sonra çubuğun alt ucundaki iki halkaya bağlanmıştır. Karşı ağırlığın alt kenarına bağlı bir ip de kılıfta açılmış olan bir aralıktan geçirilerek saat ayağının içindeki bir makara sistemine iletilmiştir. Makara sisteminin ucu kare kesitli miline kalemle içinde bulunan zamanı işaret eden bir yazıcı figürün gövdesine takılıdır. Karşı ağırlığa bağlı bir ip ise iki küçük saptırma makarasından yararlanılarak büyük bir makaraya sarılır ve bir karşı ağırlıkla sonlandırılır. Fital yakıldıktan sonra mum eridikçe karşı ağırlığın uyguladığı basınç mum altlığını devamlı surette yukarı doğru iter. Her saat başı top kanalındaki bir top çıkışa ulaşır ve atmacanın gagasından dışarı yuvarlanır. Saati işaret eden yazıcının kalemi de zamanın akışını dört dakikalık aralıklarla görüntüler. Eriyen mum kapağın ortasındaki delikten çıkan fitilin etrafında toplanarak yanar” (Bir, Kaçar, 2008) şeklinde aktarılmaktadır. Bu düzeneğin özelliği ise mekanik saatin başlangıcı olmasıdır.

Günümüzde kullanılan mekanik saatin başlangıcı ise; “Avrupa’da 1300 yıllarında mevcut su saatlerinin kadran düzenlerinden esinlenerek ve kule saatleri olarak mekanik saat geliştirilmiştir” (Bir, Kaçar, 2008). Zamanı ölçen ve günümüzde de kullanılan son düzenek mekanik saatlerdir. Mekanik saatlerin; kol saati, cep saati, ev saati (ayaklı, dolaplı, masa ve duvar saati), yapı cephesine yerleştirilen saat ve meydanları süsleyen kule saatleri gibi çeşitleri vardır.

Mezopotamya ve Mısırda görülen güneş saati zamanla diğer medeniyet temsilcilerinin kutsal mekânlarına yansımıştır. Bilhassa Müslümanlar eda edecekleri ibadetlerin gün içinde zamanla ilişkili olmasından dolayı güneş saatini sıklıkla kullanmış ve bunun ilk örneğini Şam Ömer Camii’nde uygulamışlardır. Zamanı ölçmek için başlangıçta aletlere ve ilerleyen zamanla da mekânlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu mekânlardan ilki rasathanedir ve gök cisimleri gözlemlemek için kurulmuştur.

“Arapça rasad (gözetleme) ve Farsça hâne (ev) kelimelerinden oluşan rasad-hânenin Arapçası beytü’r-rasad/ marsaddır; Farsça rasad-gâh da kullanılır. İslam tarihinde rasathâne ilk defa düzenli gözlemler yapmak üzere açılan, içinde çoğu müslüman astronomlar tarafından icat edilmiş gözlem araçları bulunan, matematikçi ve astronomların birlikte görev aldığı bir kurumdur” (Aydüz, 2007). Gök cisimlerinin hareketini incelemek için kurulan ve etrafındaki mekânlarla bir külliye olan rasathaneler döneminin ilim merkezi şeklinde tanımlamak mümkündür. Her medeniyet ve onu temsil eden devletler rasathanelerden elde edilen gözlemler neticesinde takvimler oluşturmuşlardır. Bu takvimler ilmi faaliyetlerin yanında devletin vergi toplama zamanını takvime yansıtmıştır.

Özellikle Osmanlı döneminde kurulan, zamanı mekâna yansıtan muvakkithaneler İslam medeniyetinin zirve eseri haline gelmiştir. Osmanlı dönemi zamana dair mekanların bağlı olduğu Müneccimbaşılık kurumu oluşturulmuştur ve bu kuruma hem rasathaneler hem de muvakkithaneler bağlanmıştır. “Osmanlı Devleti’nde, müneccimbaşılık adı altında, daha önceki İslâm devletlerinde örneğine rastlanmayan bir müessesede bulunmaktadır. Devlet teşkilâtı içinde önemli bir yeri bulunan bu müessesede, senelik takvimler hazırlanmakta, ayrıca Ramazan ayı için imsakiye yapılmakta ve uğurlu saat tayin edilmektedir” (Aydüz, 2004).

Anadolu’da modernleşme hareketinin başlamasıyla ve II. Abdülhamid dönemi neredeyse her şehre inşa edilen Saat Kuleleri ile zamanla muvakkithaneler işlevini yitirmeye başlamışlardır. Vaktin ölçülmesi için geliştirilen mekânsal düzenlemeyi;

- Camii avlusunda veya duvarında güneş saati,
- Rasathane,
- Muvakkithane,
- Saat Kulesi,
- Yapıların cephelerine veya üzerlerine konan mekanik saatler,

olmak üzere beş ana başlıkta sınıflandırabiliriz. Konumuz zamanın mekâna yansıması örneği olarak muvakkithane ve saat kulesi olduğundan aşağıdaki başlıklarda detaylıca incelenmiştir.

2.1. Muvakkithane

İslam dininde ibadetlerde vakit büyük önem arz etmektedir. İbadetlerin ve özellikle de namaz vakitlerinin tespiti için, çeşitli zaman ölçer aletlerinden istifade ederek bunları düzenleyen, aletlerin ayarları ve tamirleriyle ilgilenen şahıslara muvakkit denir. Muvakkitlerin faaliyet gösterdikleri mekânlara da muvakkithane denilmektedir. Muvakkit, kelime anlamı olarak “Tevkid” (Özön, 1997) eden, zaman ölçer aletlerin yardımı ile namaz vakitlerini, tanzim eden kişidir. Arapçada “Muvakkit” ve Farsçada “Hane” ’den muvakkithane kelimesi türetilmiştir. Muvakkithaneler konusunda bilinen en eski örnek ise Emeviler döneminde Şam’daki Emevi Camii muvakkithanesidir. Osmanlı Devleti’nde ilk muvakkithanenin Fatih Dönemi’nde yapılması 16. yüzyıldaki bilim, kültür ve sanat alanındaki çalışmalara bağlıdır. Zamanı tayin eden muvakkithaneler, özellikle Sanayi Devrimi ve “II. Abdülhamid döneminde saat kulelerinin yapılması ile eski önemini kaybetmiş, 20 Eylül 1952 tarihinde

ise resmen kapatılmıştır” (Aydüz, 2006). Anadolu’nun değişik il ve ilçelerinde karşımıza çıkan muvakkithaneler birbirinden farklı mimari plan tarzında ve malzemeden yapılmıştır. İlk bakışta aynı işlevi yerine getiren birbirinin tekrarı yapılar gibi görülseler de detaylarda önemli farklılıkların bulunduğunu görülmektedir. Muvakkithane yapıları, ilk bakıldığında mimari biçimleniş olarak, kütüphane ve sübyan mektepleri ile benzerlik göstermektedir. “Muvakkithane örnekleri incelendiğinde ise;

- Külliye Muvakkithanesi,
- Sokak Muvakkithanesi,
- Meydan Muvakkithanesi,

olarak sınıflandırılması mümkündür. Tarihsel süreç içerisinde muvakkithanelerin gelişimi net olarak bilinmese de plan, süsleme, malzeme ve teknik açıdan en üst düzeye Osmanlı döneminde külliyelerin oluşmasıyla ulaştığı bilinmektedir” (Eroğlu ve ark., 2010).

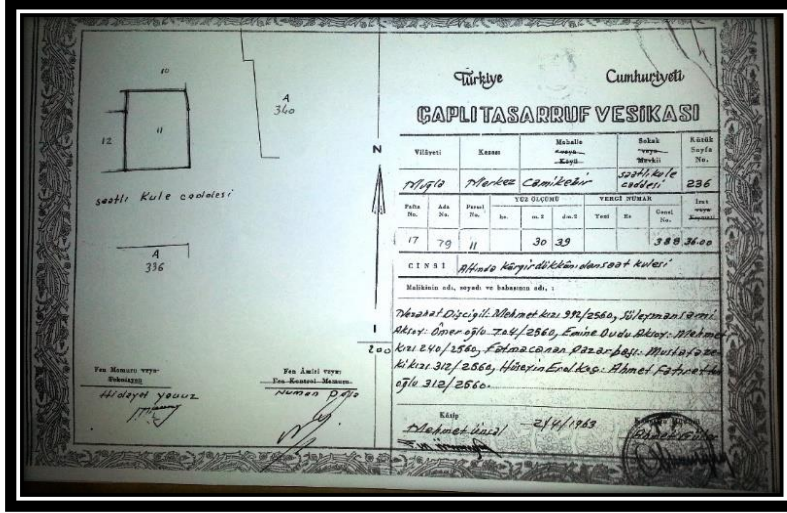
2.2. Saat Kulesi

Saat her ne kadar İslam Medeniyetinde geliştirilmişse de saat kulesi yapma geleneği batıda ortaya çıkmış ve XIII. yüzyılda ilk defa kilise ve saray kulelerinde uygulanmıştır. Saat kuleleri Avrupa’da XIV. yüzyılda yaygınlaşmaya başlamış olup Osmanlı topraklarında takriben üç yüzyıl sonra ortaya çıkmıştır. Çünkü Müslümanlar için günün dilimlenmesi ezana göre şekillenmiştir. “Herkes bilir ki, eski hayatımız saat üzerine kurulmuştur. Hatta sonraları Muvakkit Nuri Efendiden öğrendiğime göre Avrupa saatçiliğinin en büyük müşterisi daima Müslümanlar ve onlar içinde en dindarı olan memleketimiz halkı imiş. Günde beş vakit namaz, ramazanlarda iftar, sahur, her türlü ibadet saatle idi. Saat Allah’ı bulmanın en sağlam çaresi idi ve bu sıfatla eskilerin hayatını idare ederdi” (Tanpınar, 1987), yazan Tanpınar zamanı vakit olarak açıklamaktadır. Modernleşme çabasında olan Osmanlı ise “Vakit”ten mekanik saate geçmek için saat kulelerini inşa ettirerek mekanik zamanı mekâna yansıtmıştır. Saat kulelerinin Osmanlı coğrafyasında yaygınlaşması devletin modernleşme iradesiyle eş zamanlı olup, II. Abdülhamid’in saltanatının yirmi beşinci yılı olan 1901’de valilere saat kulesi yapılması ile ilgili olarak gönderdiği irade üzerine saat kuleleri tüm Osmanlı coğrafyasına yayılmıştır. “Şehirleri ve kasabaları süsleyen birer sembol olarak en yüksek tepelere ya da her yerden görülebilen meydanlara dikilen saat kuleleri buldukları mevkilere göre;

- Meydanlarda yer alanlar,
- Yüksek tepelerde veya yamaçlarda yer alanlar,
- Bir yapı üzerinde veya cephelerinde bulunanlar,” (Acun, 2008) olarak sınıflara ayrılıp, üçüncü kısımdakiler de kendi arasında; saray, idari bina, okul, hastane, istasyon binaları ve dini yapılar üzerinde olanlar şeklinde tasnif edilebilir.

3. Muğla Muvakkithanesi ve Saat Kulesi

Mülkiyeti, banisi Hacı Süleyman Efendi'ye dayanan ve torunlarına ait olan Saatli Kule ve Muvakkithanesi, Muğla ilinin, Menteşe ilçesinde, tapunun 17 pafta, 79 ada, 11 nolu parselinde kayıtlıdır (Şekil 1). Söz konusu eser; İzmir II Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 21.12.1994 gün ve 4477 sayılı kararıyla belirlenen Kentsel Sit Alanı içinde yer alan ve aynı Kurul tarafından 08.07.1998 tarih ve 7887 sayılı karar ile tescilli eser I. Grup Eser niteliğini kazanmıştır.[†]



Şekil 1. Tapu kaydı

3.1. Eserin Banisi Hacı Süleyman Efendi

“Kadıze Hacı Süleyman Efendi (1810–1890) Muğla'nın tanınmış ailelerinden “Kadızedeler” ailesinden Kadı Ömer Efendi'nin oğludur. 1871 ile 1880 yılları arasında Muğla Belediyesi'nin ilk Belediye Başkanı olmuştur. Masrafını bizzat kendi karşıladığı Muğla Saat Kulesi'ni 1885'de yaptırmıştır. Bu eserin yanında döneminde; Muğla'ya “Soğuk Dere” suyunu getirmiş, “Eski Koca Havuzu” (günümüzde yıkılan ve Akyol mahallesindeki) yaptırmış ve çevresine meyve bahçeleri diktirerek tarımı teşvik etmiş, “Yağcılar” ve “Koca Han” (yıkılmıştır) yaptırmıştır. Hacı Süleyman Efendi, Muğla Kütüphanesi'nin kurucusu Hoca Mustafa Efendi'nin (1785 [H.1200]-1874 [H.1291]) damadıdır. Daha sonra bu kütüphane kayıbiraderinin öncülüğünde Muğla Hoca Mustafa Efendi Kütüphanesi'ne dönüşmüştür. Sağlığında mütevelliliğini yapmış kütüphanenin gelişip genişlemesi için ayrıca çaba sarf etmiştir. Eşi Pembe Hanım'da Muğla'nın hayır işlerine el atmış ve Muğla Devlet Hastanesi'nin kuruluşuna ön ayak olarak devlet hastanesi pavyonlarının ilkinin bizzat masraflarını çekerek kendisi yaptırmıştır. Hacı Süleyman Efendi 1890, eşleri Hacı Pembe Hatun 1901 yılında vefat etmişlerdir.”[‡]

[†] T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıklarını ve Müzeler Genel Müdürlüğü Muğla Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu, “Muğla Saat Kulesi” Rap. 48.00.929; 1994.

[‡] H. Hüseyin AYDOĞDU; Saatli Kule'nin Tarihçesi; Mart 1980 tarihli; Kültür Varlıklarını Bölge Koruma Kurulu Dosyasında görülmüştür (Dosya No: 48.00.929)

3.2. Muvakkithane ve Saatli Kulenin Konumu

Saatli Kule ve Muvakkithanesi, Şeyh Mahallesi'nde, Mustafa Muğlalı Caddesi ile Ulu Camii Sokağının kesiştiği köşede konumlanmıştır. Mustafa Muğlalı Caddesi ise tarihi kent dokusunun merkezi olup şehrin ana aksını oluşturmaktadır (Şekil 2).



- (1) Ulu Camii,
- (2) Arasta,
- (3) Şeyh Camii,
- (4) Saatli Kule ve Muvakkithane, (
- (5) Yağcılar Hanı,
- (6) Kurşunlu Camii,
- (7) Konakaltı Hanı [günümüzde İskender Alper Kültür Merkezi],
- (8) Adliye [Günümüzde Büyükşehir Belediye Başkanlığı],
- (9) Pazaryeri,
- (10) Cumhuriyet Meydanı,
- (11) Hükümet Konağı

Şekil 2. Uydu görüntüsü[§]

Mustafa Muğlalı Caddesi ile Ulu Camii Sokağının kesiştiği köşenin kuzeyinde ve batısında Saatli Kuleye bitişmiş iki ve üç katlı yapılar, doğu köşesinde Ulu Camii Sokak'la ayrılan Vakıfların mülkiyetinde olan hamam yer alır. Saatli Kulenin kuzeybatı köşesinde tarihi Hoca Mustafa Efendi Kütüphanesi'nin de içinde yer aldığı Şeyh Camii, Kur'an Kursu binası ve haziresi bulunmaktadır (Şekil 3).

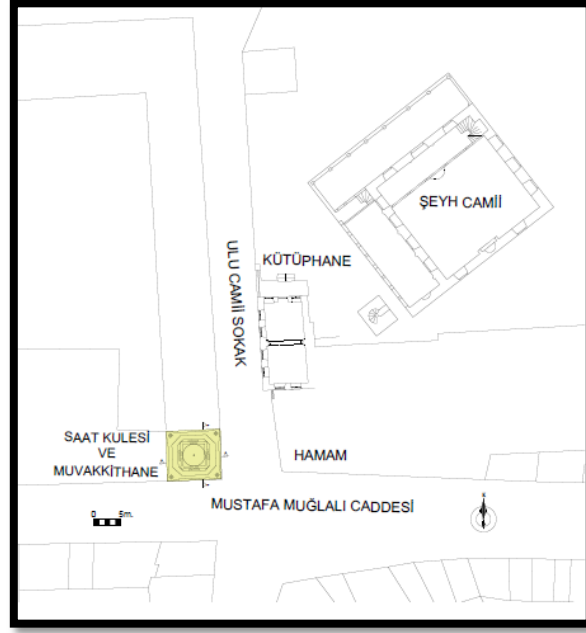
3.3. Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesinin Tarihi

“Muğla Saat Kulesi, Muğla eşrafından olup 1871 yılında kurulan Muğla Belediyesi'nin ilk başkanı Hacı Süleyman Efendi tarafından eşi Pembe Hatun adına Hac dönüşü Şam'da görüp beğendikleri bir saat kulesinin planını örnek alarak Mimar Filvari'ye 1885 tarihinde inşa ettirildi” (Acun, 1994). Bu bilgidenden hareketle araştırmalarımız neticesinde Suriye coğrafyasında dört adet saatli kuleye rastladık. Bu kayıtlara göre saat kulelerinin inşa tarihleri; Halep Hicri 1317 (Miladi 1900), Hama bilinmiyor, Hamidiye Kazası 1901 ve Şam 1901'dir. Dolayısı ile Hacı Süleyman Efendi'nin hac farızası dönüşü Şam'da bulunan Saatli Kuleyi beğenip aynısını Muğla'ya yaptırması günümüz bilgilerine göre doğrulanması söz konusu değildir.

Saat Kulesi'nin saati mekanik ve Fransız yapımı olup, her iki günde (48 saatte) bir kurma kolu ile kurulur. Çelik halatlara bağlanmış ağırlık sistemi yardımıyla çalışır. Mekanik saat her yarım saatte bir,

[§] <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/37.21809253669264/28.365859687328342>

tam saatlerde ise saatin miktarı kadar çana vurmasıyla saatin kaç olduğu duyurmaktadır. Halen saatin bakımını, eski muvakkithaneyi saat dükkânı ve tamirhanesi olarak kullanan Arif Karadana (Şekil 10) yapmakta olup, babasından aldığı mirasla bu geleneği devam ettirmektedir.



Şekil 3. Vaziyet Planı (Çizim; Dere, M. E.)

3.4. Yapının Kitabeleri

Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesinin kitabesi ise Hattat Dede İsmail Hakkı Efendi tarafından yazılmıştır. Hattat Dede İsmail Hakkı Efendi hakkında bilgileri Muğla Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Dosyasındaki bir bilgi notunda rastlamaktayız; “1832 yılında Arapkir’de doğmuştur. Bursa’nın meşhur hattatlarından Mustafa Vasfi Efendi’den hattatlık dersleri alarak Muğla’ya gelmiştir. Muğla’da muhasebe başkatipliği görevine başlayan Dede İsmail Efendi, birçok kişiye güzel yazma dersi vermiştir. 1895 tarihinde Rüştü ve İdadi mekteplerinde yazı hocalığı yapmıştır. Şeyh Camisi karşısında Hacı Kadızade Süleyman Efendi tarafından yapılan on metre yüksekliğinde ki Koca Saatin altındaki kitabe ile çeşmenin kitabelerinin yazılarını Dede İsmail Efendi yazmıştır... Mevlevi tarikatına bağlı ve Şahidi Mevlevi hanesi neyzeniydi” (Hakses, 2010). Saatli Kule ve Muvakkithaneye güney cephesinden girilir ve giriş kapısı üzerindeki kitabesi (Şekil 4) mevcuttur. Kitabe**;

صاحبال حایر حاجی سالیمان افندی حضرتی	Sahibül hayır Hacı Süleyman Efendi hazreti
ینی دریایی عیتاسینی اکهان ایتی ظهور	Yine deryayı itasını ikhan etti zuhur
باخصوص اقطار اضحار وقتنی الان ایدن	Bahusus aktar-ı ezhar vaktini ilan eden
ب مدلی بر موکتخانا بیت بیقوسر	Bu mahalle bir muvakkithane yaptı bi-kusur
بلدمیزد مسیل نامسبوق کبیر جان س ایتی	Beldemizde misli namesbuk kebir çan saati

** Kitabe Dere, Murat Erdal tarafından okunmuştur.

اوروبادان جلابنج هرکس ورد سرر	Avrupa'dan celbedince herkese verdi sürur
قالمدی هیچ احتیج جب ساعتی طاشیمی	Kalınadı hiç ihtiyaç cep saati taşımaya
ءکس اواز ایل ءالم وقتی اتدی شو ءور	Aksi avaz ile alem vakti etti şuur
هم زیبا شوقیلا بولدو موجاوار تاریخی	Hem ziya şevkile buldu mücevher tarihi
کالدی مایدانا موکتخان بیواسءیوفور	Geldi meydana muvakkithane bi-evsa-ı vufur
...	Okunamadı



Şekil 4. Saatli Kule ve Muvakkithanenin Kitabesi^{††}



Şekil 5. Çeşmenin Kitabesi^{††}

^{††} Fotoğraf Dere, Murat Erdal

^{**} Fotoğraf Dere, Murat

Saat Kulesinin ve muvakkithanenin doğu cephesinde ve ona bitiştik kulenin banisi Hacı Süleyman Efendi tarafından yaptırılan kitabeli bir çeşme mevcuttur (Şekil 5). Kitabe^{§§};

قضي زاد حاجي سوليمان افاندو زولكارم	Kadızzade Hacı Süleyman Efendi zülkerem
جويو جود الدو دريائي عنايتن راوان	Cuy-u cuda oldu deryayı inayetten revan
بو سبابي فيسابيلله يابنج بر سبيل	Bu sebebi fisebilillah yapınca bir sebil
تشنكان كربلا اروحا الدو شادمان	Teşnegan-ı Kербela ervahı oldu şadıman
بوسبيلك كاسي كاسي نوش اولدقجي صويو	Bu sebilin kase kase nuş oldukça suyu
قضارسنجي اجر نامغدوت وري همي مستعان	Kadresince ecri namaadut vire hem müstean
يپلنجي بوسبيل هم ديدي تاريخن ضيا	Yapılınca bu sebil hem dedi tarihin ziya
اك كوزل موقعد الدو بو سبيل اي تشنكن	En güzel mevkiade oldu bu sebil ey taşnegan
...	...Okunamadı

3.5. Yapının Mimarisi

Saat Kulesi, “Sokak Muvakkithanesi” sınıfında olup, Muğla yöresine ait doğal taşlarla yığma tekniği ile inşa edilmiştir. Duvar örgü sistemi ise, bir sıra dikdörtgen biçimli beyaz Muğla mermer bloklarla, üzeri bir sıra tuğla ve tuğla üzeri bir sıra pembe rengi sadece Muğla’da olan Konglomera mermer düzeninde inşa edilmiştir. Bu şekilde üç sıralı duvar örgü düzeni tekrarlanarak yapı boyunca devam ettirilmiştir. Ayrıca aynı sıraya konan taş blokların arasına kiremit konularak birbirleriyle bağlanmıştır. Yapının zemin ve birinci kat kaideleri kare formundayken, üçüncü kaideden itibaren yaklaşık 25 cm geriye çekilip kare formunun köşeleri pahlanarak (Şekil 12, 14 ve 15) sekizgen şeklini almıştır. Üçüncü kaidenin kütlesi geriye çekilmesi ile ikinci kat köşeleri ay-yıldızlı alemlerle tamamlanmıştır (Şekil 15 ve 17).



Şekil 6. Muğla Saatli Kulenin Ahşap Köşkü***

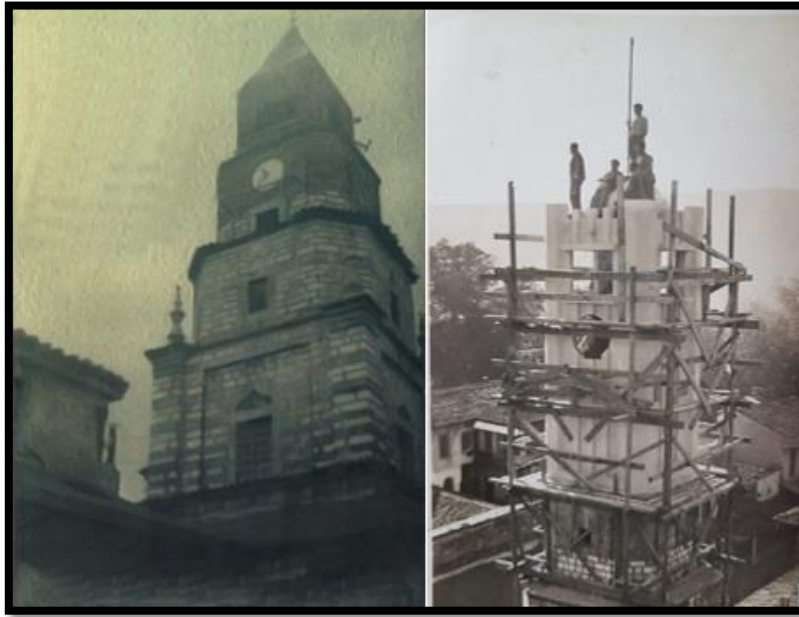
^{§§} Kitabe Dere, Murat Erdal tarafından okunmuştur.

^{***} Fotoğraf Yılmaz, Meltem

Muvakkithane ve Saat Kulesi zeminden üst katlara doğru daralan kare planlı olup, beş kademededen müteşekkildir. İlk dört kademesi gerek malzeme gerekse nispeti bakımından bütünlük gösterirken, muhdes son kısmın uyumsuzluğu dikkat çekmektedir (Şekil 9). Eserin ahşap köşkünün (Şekil 6) kaldırılıp yerine yükseltilerek betonarmeden yapılmış olan muhdes ilavesi; “Dördüncü katın üzerine uzunca bir kat daha ilave edilerek yuvarlak saat kadranları buraya yerleştirilmiştir” (Acun, 2011). Acun tarafından tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Rodos Saat Kulesi^{†††}



Şekil 8. (sol) Saatli Kulenin bulunabilen en eski resim 1950 öncesi (Aladağ, 2016, Kapak), (sağ) Betonarme son kademenin inşaatı^{†††}

^{†††} <https://kulturenvanteri.com/yer/rodos-fethi-pasa-saat-kulesi/#16/36.444241/28.223816>

^{†††} Fotoğraf Esin, Erdoğan

Muğla Saat Kulesi ve Rodos Saat Kulesinin son katmanı olan ahşap külah formu (Şekil 6 ve 7) benzerlik göstermektedir. Bu iki saat kulesi arasındaki mimari benzerlikler ise iki saat kulesinin de aynı coğrafyada ve mimari kültürde yer almasının yanında, Rodos Saat Kulesinin 1852 (Anonim, 2021) yılında yapıldığı ve Muğla Saat Kulesine örnek teşkil etmesi bağlamında açıklanabilir.



Şekil 9. (sol) Güneydoğu cephesi, (sağ) Kuzeydoğu cephesi

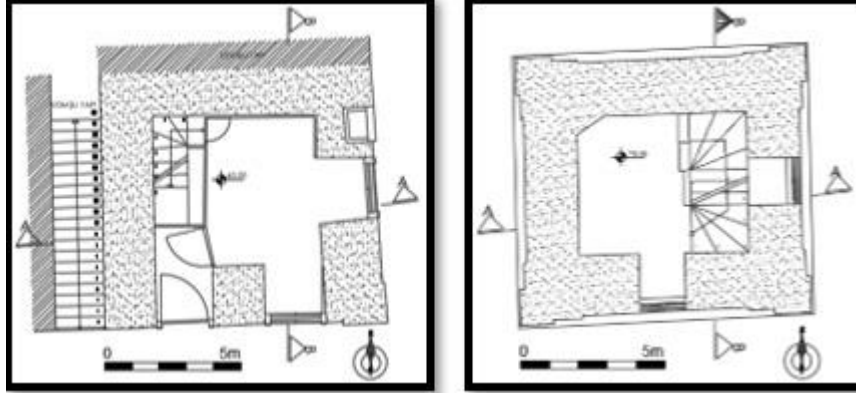
Saatli Kule'nin son kademesinin ahşap köşkünü kaldırılarak yükseltilmesine dair; “Belediye başkanı Naci Karaosmanoğlu döneminde (1950-1957) yılları arasında Kule'nin etrafındaki binaların yükselmesinden ötürü mevcut kule'nin üstüne çıkma gereği duyulmuş, Kule'nin alt tarafı ile mimari üslup açısından farklı olan üst kısmını ise Muğla'nın eski ustalarından Abdurrahim Esin yapmış,” (Oğuz, 2010) şeklinde başka bir kayıt mevcuttur (Şekil 8). Eklektik olan son katman özellikle batısına inşa edilen bitişik betonarme dört katlı İşhanı sebebiyle yükseltilerek çözüm bulunmuştur (Şekil 9).



Şekil 10. Kule kapısından eski Muvakkithane, günümüzde saatçi dükkânı^{§§§}

Saatli Kule ve Muvakkithanesine giriş yapının güney cephesinden olup zemin kat kaide kısmında bir oda ve oda içinde kuleye çıkmak için bir ahşap merdiven yer almaktadır (Şekil 12). Zemin kattaki oda kitabeden okunduğu şekliyle muvakkithane olarak işlev gördüğü anlaşılmaktadır (Şekil 4). Yapının doğu cephesinde bir çeşme mevcuttur (Şekil 13). Saat kulesinin en son katı olan köşk kısmında saat mekanizması vardır (Şekil 16). Saat mekanizması üzerindeki saat yukarıya bir mille bağlanmıştır. Bu mil kulenin dışındaki saat kadranı üzerinde bulunan akrep ve yelkovanı hareket ettirmekle birlikte, en üstte kubbenin altındaki çanın tokmağını çalıştırmaktadır. Saat mekanizmasının çarkları arasında mevcut makaralara sarılı, uçlarında ağırlıkları olan iki çelik halat mevcuttur. Halatların ucundaki ağırlıkların aşağı-yukarı inip çıkmasıyla saatin kurularak çalışması sağlanmıştır. Saat köşkünün tepesinde bir çan yer almaktadır. Bu çanın üzeri betonarme bir kubbe ile örtülü olup, çanın sesinin duyurulması için yatay formda açıklıklar bırakılmıştır.

^{§§§} Fotoğraf Oğuz, Meral



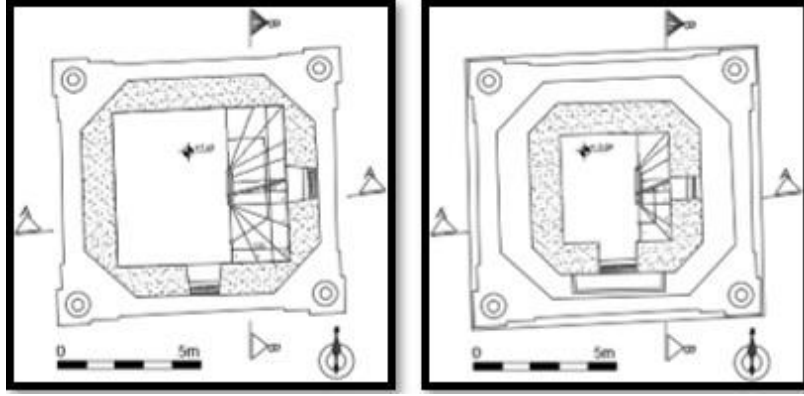
Şekil 11. (sol) ±0.00 kotu Planı, (sağ) +4.46 kotu Planı (Çizim; Dere, M. E.)

Zemin ve birinci katlar, yapının dörtgen formundaki kaidesini oluşturmakta olup, 5,19 m x 4,73 m ebatlarında ve duvarları yaklaşık 1,20 m kalınlığındadır. Muvakkithane (günümüzde saat tamircisi) 8,30 m²'lik bir alana sahiptir (Şekil 12). Zemin kata güneybatı köşesinden 1,05 m genişliğinde ve 1,90 m yüksekliğindeki ahşap kapıdan girilir. Ahşap kapı üzerinde eserin kitabesi bulunmaktadır. Doğu ve güneybatı cephesinde eni 1,11 m ve yüksekliği 2,65 m olan ahşap kepenkli pencereler mevcuttur. Birinci kat 7,60 m yüksekliğinde olup, doğu ve güney cephesinde 85 cm genişliğinde ve 1,25 m yüksekliğinde lokma demir dökümlü parmaklıklı ahşap pencereler mevcuttur. Ayrıca doğu cephesinde duvar içine 55 cm derinliğinde açılan bir çeşme nişi olup, nişin üstü basık kemerli pembe Konglomera taşla taçlandırılmış ve kemerin üzerine kitabe konmuştur (Şekil 13).

+7,60 kotundan başlayan ikinci kat kare formlu Kaideden yaklaşık 25 cm içe doğru daralan gövdenin köşelerinin pahlanmasıyla sekizgen forma dönüştürülmesiyle hem yapı ağırlığı hafifletilmiş hem de cephede hareketlilik sağlanmıştır (Şekil 9). Duvar kalınlığı takriben 55 cm olup iç mekân 8,15 m²'lik bir alana sahiptir. Pahlanan köşelerle sağlanan hareket gövdenin bitim köşelerinin üzerlerine ve pahlanmış köşelerin önlerine ay-yıldızlı alem dikilmekle cephedeki hareketlilik alemlerle hem taçlandırılmış hem de keskin cephe hareketi hafifletilmiştir (Şekil 14 ve 17). Doğu ve güney cephesinde 50 cm genişliğinde ve 75 cm yüksekliğinde lokma demir parmaklıklı ahşap pencereler mevcuttur.

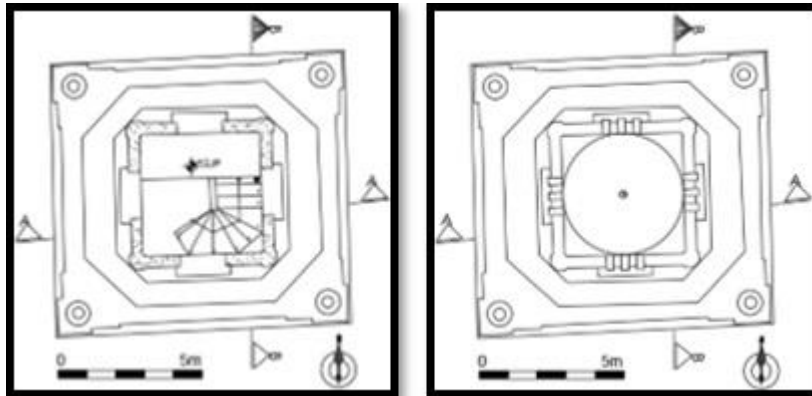


Şekil 12. (sol) Güney cephesi; Muvakkithaneye giriş kapısı üzeri kitabesi, (sağ) Doğu cephesi; çeşme ve kitabesi



Şekil 13. (sol) +7.60 kotu Planı, (sağ) +10.05 kotu Planı (Çizim; Dere, M. E.)

+10,05 kotunda başlayan üçüncü kat ilk yapıldığında köşk olup taban döşemesi ahşap ve 3,61 m²'lik bir alana sahiptir (Şekil 14). Duvar kalınlığı 55 cm olup gövdeden yaklaşık 30 cm içe doğru daralmıştır. Güney cephesinde 65 cm genişliğinde ve 55 cm yüksekliğinde pencere açıklığı var olup, üstünde 90 cm çapında saat kadrani mevcuttur. Bu pencere açıklığından kadrana ulaşım sağlanmaktadır. Söz konusu açıklık 77 cm yüksekliğinde ve 30 cm genişliğinde olmakla, ancak bir insanın güvenli çalışabilmesi için bırakılmıştır. Doğu cephesinde 40 cm genişliğinde ve 30 cm yüksekliğinde açıklık vardır.



Şekil 14. (sol) +12.56 kotu Planı, (sağ) Çatı Planı (Çizim; Dere, M. E.)

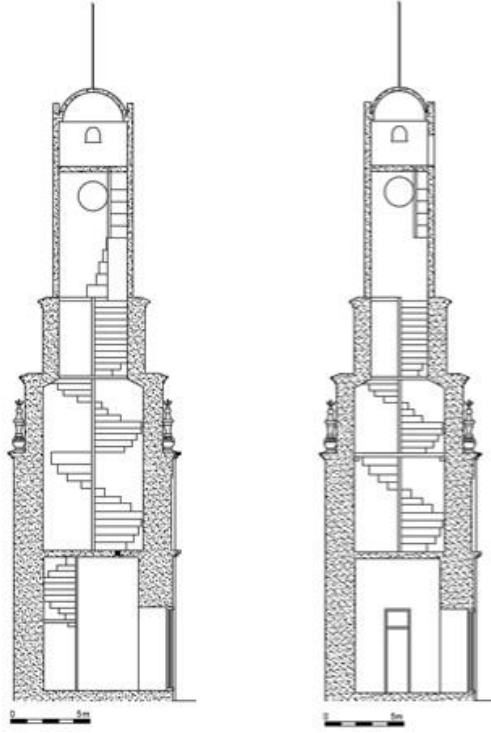
Muhdes olan eklenti, yani son katman betonarme olup 2,57 m x 2,57 m ebatlarında ve takriben 20 cm duvar kalınlığına sahiptir. Bu eklenti tarihi kulenin ahşap köşkünün kaldırılarak üzerine oturtulmuştur. Söz konusu eklentinin formu dikdörtgen prizma ve çatısı da kubbe formundadır (Şekil 15-18). Bu dörtgen prizma köşeleri duvara nispetle öne fırlamış kolonumsu beşgen form şeklinde düzenlenmiştir. Günümüzde köşk olan bu kısmın dört tarafından çan sesinin yayılması için dikdörtgen formda pencere açıklıkları bırakılmıştır (Şekil 16). Özetle köşk kısmı hariç (üçüncü kat) tüm pencereler ahşaptan dikdörtgen formunda olup pencere açıklığının etrafı pembe renkli kabayonu taştan yapılmış söveli ve üstlerinde yine aynı malzemeden yapılmış hafifletme kemerleri vardır. Her katta sivri kemer alınlıklı dikdörtgen şekilli iki pencere yer almaktadır. Yapının cephe duvarları özenli bir sıra kırmızı tuğla, bir sıra beyaz renkli kesme mermer taştan ve taşların arası derzli almaşık teknikte örülmüş olup, Neo-Klasik üslupta inşa edilmiştir. Katlar arası silme, pencere üstü basık sivri kemerli alınlık ve pencere etrafı söve pembe renkli mermer (konglomera taşı; Muğla'ya has pembe renkli sert mermer) yapılmıştır.



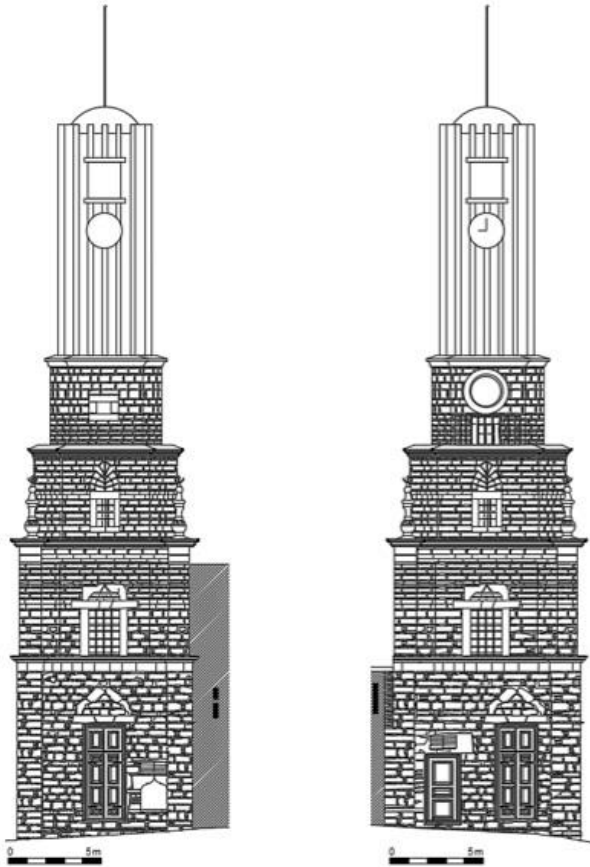
Şekil 15. (sol) Saat kulesine mekanik oda, (sağ) son katman Çan Kulesi****

25.05.2007 tarih ve 3138 nolu karar ile Muğla Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu tarafından basit onarımına izin verilmiştir. Söz konusu karar ile yine aynı yıl basit onarım kapsamında, dış duvarda bozulan ve çürüyen taşlar aslına uygun taşlar ile yenilenmiştir. Bozulan derzler yenilenmiş, kapı- pencere doğramalarının çürüyen ahşap aksamları ve yine çürüyen ahşap merdiven basamakları yenilenmiştir.

**** Fotoğraf Oğuz, Meral



Şekil 16. (sol) A-A Kesiti, (sağ) B-B Kesiti (Çizim; Dere, M. E.)



Şekil 17. (sol) Doğu cephesi, (sağ) Güney Cephesi (Çizim; Dere, M. E.)

4. Sonuç

Osmanlı modernleşmesinde zamanı mekâna yansıtan saat kuleleri, yine Osmanlının klasik dönemlerinde ki muvakkithanelerinin yerine geçmiştir. Sultan Abdülhamid döneminin önemli simgesi olan saat kuleleri tebaasının vakit anlayışının değişmesi için bir araç olmuştur. Bu simgesel yapılardan biri olan Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithanesi “Kentsel Sit Alanı” içinde yer almasına karşın, söz konusu eser bitirilen günümüz yeni yapılarla özgün görünümünü olumsuz etkilemiştir. Buna karşın;

- Saatli Kule olarak bilinen eserin zemin katında muvakkithane ve doğu cephesinde çeşme bulundurması,
- Muvakkithane olarak kullanılan odanın günümüzde saat tamircisi olarak kullanılması ve işlevini yitirmemesi,
- Osmanlı coğrafyasında 1901 yılında II. Abdülhamid’in yirmi beşinci saltanatı ile yaygınlaşan saat kulelerinin öncesi inşa edilmiş olması,
- Araştırmalarımız neticesinde mimari özelliği bakımından birçok örnekten farklı ve özgün olması,

bakımından Muğla Saat Kulesi ve Muvakkithaneyi özel kılmaktadır. Bu yapının anıtsal değeri bağlamında, çevresinin zamanımızın ihtiyaçları ve korumacılık anlayışına göre tekrar düzenlenip anıt yapının silüetini etkilemeyecek yükseklikte yapılarla yeniden çevrelenmesiyle, Saatli Kule tekrar şehrin simgesel değeri haline getirilmelidir. Böylelikle Türk sanatında ve toplumumuzun kültür hafızasında unutulmaya yüz tutmuş bu yapıların mekân anlayışı ve kurgusu, tekrar hatırlanmalarına vesile olacaktır.

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 ederler.

Kaynakça

Acun H. Anadolu saat kuleleri. Ankara: Atatürk Kültür Merkezi Yayınları; 1994.

Acun H. Osmanlı imparatorluğu saat kuleleri. Ankara: Atatürk Kültür Merkezi Yayınları; 2011.

Acun H. Saat kulesi. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2008; 35: 325-326.

Aladağ E. Filvari usta. İstanbul: Belge Yayınları; 2016.

Anonim. <https://kulturenvanteri.com/yer/rodos-fethi-pasa-saat-kulesi/#16/36.444241/28.223816>. (Erişim Tarihi 21.12.2021).

Aristoteles. Philosophische Schriften (Cilt 6). (H. G. Zekl, Çev.) Hamburg: Wissenschaftliche Buchgesellschaft; 1995.

Aydüz S. Muvakkithane. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2006; 31: 413-415.

- Aydüz S. Osmanlı astronomi müesseseleri. Türkiye Araştırmalar Literatür Dergisi 2004; 2(4): 411-453.
- Aydüz S. Rasathâne. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2007; 34: 456-458.
- Bir A., Kaçar M. Saat. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2008; 35: 322-325.
- Bir A., Kaçar M. Usturlap. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2012; 42: 195-198.
- Einstein A. Mein weltbild. Berlin: Ullstein Bücher; 1965.
- Eliade M. Der myθος der ewigen wiederkehr. Düsseldorf: Eugen Diederichs; 1953.
- Eroğlu B., Yıldız E., Tomar EZ. Külliye elemanı olarak muvakkithane yapıları, Afyon Yeni Camii Muvakkithanesi örneği. Safranbolu Saat Kulesi ve Zaman Ölçerler Sempozyumu, 21-22 Mayıs 2010, sayfa no: 217-232, Safranbolu.
- Gazali. Filozofların tutarsızlığı. (M. Kaya, & H. Sarıoğlu, Çev.) İstanbul: Klasik Yayıncılık; 2005.
- Hakses AR. Muğla menteşe büyükleri. (A. Çevik, Çev.) Muğla: Muğla Valiliği, İl Müftülüğü; 2010.
- Hawking S. Zamanın kısa tarihi. (B. Gönülşen, Çev.) İstanbul: Alfa Bilim; 2014.
- Kaya M. Kindi felsefi risaleler. (M. Kaya, Çev.) İstanbul: Klasik Yayıncılık; 2002.
- Kutluer İ. Zaman. İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2013; 44: 111-116.
- Newton I. Mathematische prinzipien der naturlehre. Darmsatd: Wissenschaftliche Buchgesellschaft; 1963.
- Oğuz M. Saat çalıştıkça yaşam da akar gider. Muğla İl Kültür ve Turizm Dergisi Ekim 2010; 58-64.
- Özön MN. Osmanlıca-Türkçe sözlük. İstanbul: İnkılap Yayınevi; 1997.
- Platon. Platon werke (Cilt 7). (H. Müller, & F. Schleiermacher, Çev.) Hamburg: WissenschaftlicheBuchgesellschaft; 2005.
- Tanpınar AH. Saatleri ayarlama enstitüsü. İstanbul: Dergah Yayıncılık; 1987.
- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Parsel sorgulama uygulaması. <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/37.21809253669264/28.365859687328342>. (Erişim Tarihi 15.03.2022).
- Toprakkaya A. Felsefe, din ve kültür'de zaman. İstanbul: Paradigma Yayıncılık; 2013.
- Uçar S. Varlık ve zaman. İslam Araştırmalar Dergisi 2001; 5(6): 137-154.



Endüstriyel Mısır Kurutmada Temel Parametreler ve Kurutma Sistemleri

Emel ÇELİK^{1*}, Nezaket PARLAK²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Sakarya

²Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Termodinamik ve Isı Tekniği Ana Bilim Dalı, Sakarya

¹<https://orcid.org/0000-0002-4165-8402>

²<https://orcid.org/0000-0002-8469-2192>

*Sorumlu yazar: eemelcelik08@gmail.com

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.01.2022

Kabul tarihi: 11.05.2022

Online Yayınlanma: 12.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kurutma karakteristiği

Nem içeriği

Kurutma teknolojileri

Mısır kurutucular

ÖZ

Mısır, yüzyıllardır önemli bir tarımsal hammadde ve birincil gıda kaynağı olmuştur. Dünya nüfusunun artan talebi ile tahıl işleme teknolojisi önemli bir yere sahiptir. Tahıl grubu içinde önemli bir yere sahip olan mısırı güvenli depolayabilmek için düşük nem seviyelerine ihtiyaç vardır. Tarım ürünlerini kurutma ile tüm besin maddelerini koruyabilmek ve güvenilir depolama amaçlanmaktadır. Bu derlemede son yıllarda yapılan çalışmalar incelenerek mısır kuruma karakteristiğine etki eden faktörler (ürün nemi, denge nemi, difüzyon katsayısı, kütle ve enerji denklemleri, basınç düşümü ve yığın yoğunluğu) incelenmiştir. Kurutma işlemi karmaşık yapıdaki zamana bağlı ısı, kütle ve momentum aktarım mekanizmalarının eşzamanlı ve birbirleriyle bağlantılı olarak gerçekleştiği bir süreçtir. Kurutma işlemlerinin hesaplanmalarında, mısırın fiziksel özelliklerinden yuvarlaklık, eşdeğer çap, geometrik ortalama çap, gözeneklilik, özgül ısı ve ısı iletkenlik referans olarak sunulmuştur. Kurutucular için mühendislik hesaplamalarında ihtiyaç duyulan temel denge ve ısı ve kütle transferi parametrelerinin belirlenmesi için matematiksel hesaplamalar verilmiştir. Deneysel verilerle, eşzamanlı ısı ve kütle transferinin analitik veya sayısal çözümleri pratik hesaplamalar ile mümkündür. Bu tür veriler, tahıl depolama, kurutma ve havalandırma ile ilgili sorunlar üzerine çalışırken de değerlidir. Kentleşen nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için büyük miktarlarda tahılın kurutulmasına olanak sağlayan termal kurutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada endüstriyel bir ürün olan mısır ve mısır kurutma sistemleri hakkında güncel bilgilere yer verilmiştir. Son 10 yılda yapılan deneysel çalışmalar gözden geçirilmiş ve tartışılmıştır. Endüstriyel kurutma sistemlerinin tasarım esaslarına dikkat çekilerek, derlenen bilgilerin ticari ve akademik çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

Design Principles of Industrial Corn Drying Systems

Review Article

Article History:

Received: 06.01.2022

Accepted: 11.05.2022

Published online: 12.12.2022

Keywords:

Drying characteristics

Moisture content

Drying technologies

Corn dryers

ABSTRACT

Corn has been an important agricultural raw material and main food source for ages. With the increasing demand of the world population, grain processing technology has taken an important place. Low moisture levels are needed to safely store corn, which has an important place in the grain group. It is aimed to protect all nutrients and reliable storage by drying agricultural products. In this review, the studies carried out in recent years were examined and the factors affecting the drying characteristics of corn (product moisture, equilibrium moisture, diffusion coefficient, mass and energy equations, pressure drop and bulk density) were examined. The drying process is a complex and incomprehensible process in which heat, mass and

momentum transfer mechanisms co-occur and in connection with each other. Calculations of drying processes are presented as a reference for the physical properties of corn such as roundness, equivalent diameter, geometric mean diameter, porosity, specific heat and thermal conductivity. Mathematical calculations are given to determine the basic equilibrium and heat and mass transfer parameters needed in engineering calculations for dryers. With experimental data, analytical and numerical solutions of simultaneous heat and mass transfer are possible with practical calculations. This type of data is also valuable when working on problems with grain storage, drying, and aeration. Mechanization of agriculture is needed to meet the needs of a rapidly growing and urbanizing population, and mechanical methods are needed to dry large quantities of grain. In this study, current information about corn, an industrial product, and corn drying systems are given. Experimental studies over the last 10 years are reviewed and discussed. Drawing attention to the design principles of industrial drying systems, it is aimed to shed light on commercial and academic studies of the compiled information.

To Cite: Çelik E., Parlak N. Endüstriyel Mısır Kurutmada Temel Parametreler ve Kurutma Sistemleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(3): 1912-1933.

1. Giriş

Mısır, ılıman iklim bitkisi olup uzun yıllardır tarımı yapılmaktadır. Mısırın anavatanı Amerika kıtasıdır ve tarihi 8,000 ile 10,000 yıllık geçmişe dayanmaktadır. Dünyada buğday ve çeltikten sonra en fazla ekim alanına sahip tahıl bitkisidir. Mısır tarımını dünyada yaklaşık 70 milyon çiftçinin yapmakta ve bunun %80'nide gelişmekte olan ülkelerde yapılmaktadır. Mısır bitkisi 147.145.702 hektar ekim alanına sahiptir (FAO, 2019). Üretim olarak 724.515.133 ton 'dur. Dünya'da üretimini incelediğimizde %49,9 Amerika, %32,2 Asya, %10,6 Avrupa, %7, Afrika ve %0,1 Okyanus ülkeleri olduğu görülmektedir (Web_1). 2019 yılında 6,4 milyon da ekim alanda üretimimiz 6 milyon ton civarındadır. Mısır ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yetiştirilebilmesine rağmen, en çok Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilmektedir. Bu bölgemiz mısır alanlarının yaklaşık %60-65'ine sahiptir. Toplam mısır üretimimizin ise Karadeniz bölgesinde %20'si, Akdeniz bölgesinde %45'i ve Marmara bölgesinde %20'si karşılamaktadır (TUİK, 2020).

Mısır insan gıdası, endüstri hammaddesi ve hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sap ve yaprakları hayvan yemi, kâğıt yapımı ve hasır el işleri alanlarında da değerlendirilmektedir. Son yıllarda çerezlik, yağ, tatlandırıcı ve biyoyakıt-biyoetanol üretiminde kullanımı da artmaktadır. Mısırın kullanım oranları ise %75'i yem sektöründe, %20'lik bölümü nişasta-glikoz sanayinde ve %5'i ise endüstride, yağ üretiminde ve tohumluk şeklinde değerlendirilmektedir (Yıldırım ve Öner, 2020). Mısır çeşidi olarak en yaygın at dişi ve sert mısır insan ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Çeşit seçiminde bölge şartları göz önüne alınmalıdır. Ülkemizde 2001/02 döneminde 30,0 ton olan "tohumluk kullanımı"nın, 2015/16 sezonunda 17,2 ton, 2018/19 sezonunda ise 14,798 ton olduğu görülmüştür (TOB, 2021).

Son zamanlarda, müşteri gereksinimleri doğrultusunda araştırmacılar, kurutma teknolojilerini geliştirmeye ve daha kaliteli ürünler elde etmeye odaklanmışlardır (Mothibe ve ark., 2014). Kurutma prosesi, kurutucuların yapısı, ortam ve kurutma havasının sıcaklığı ve bağıl nemi, kurutma havasının statik basıncı, tahıl sıcaklığı ve tahılın başlangıçtaki nem içeriği gibi birçok faktörden etkilenir (Hung

ve ark., 2019). Asemu ve ark. (2019) çalışmalarında %22-29 (y.b) nem içeriğine sahip mısır örneklerinin güneş kurutucuda üç farklı katman kalınlığında kurutma performansı testlerini yapmışlardır. Mısır kalınlığının kuruma süresini büyük ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir. İnce tabaka kurutma modellerinden Verma ve ark., difüzyon yaklaşımı modellerinin daha iyi tahminler verdiğini bulmuşlardır. Çelik ve ark. (2021a) çalışmasında, laboratuvar tip endüstriyel prototip tahıl kurutucu tasarlamışlardır. Kurutucu havasının giriş sıcaklığı 103°C'de, iki farklı kurutma havası hızında deneylerini yapmışlardır. Deneysel veriler MATLAB yazılımı kullanılarak eğri uydurma yöntemi ile modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğine en uygun modelin Midilli modeli olduğunu ifade etmişlerdir. Wang ve ark. (2021) çalışmasında yeni geliştirdikleri kurutma sisteminde mısır için kurutma sisteminin ekserji analizini yapmışlardır. Deneysel çalışmanın sonuçları incelendiğinde ekserji veriminin %34,03-%64,90 olduğunu ve yoğuşma yoğunluğunun 1,1-4,9 g/m³ iken mısırın kurutma hızının %0,3-%0,4 arasında stabil olduğunu göstermişlerdir. Kurutma işleminin iyileştirme potansiyel hızını, kurutma sıcaklığı 90°C-100°C iken ve 90 °C'nin altındayken sırasıyla 109 kJ/s-115 kJ/s ve 37 kJ/s-52 kJ/s olarak bulmuşlardır. Sürdürülebilirlik endeksi 1,5- 2,8 olarak hesaplamışlardır. Artan kurutma havası sıcaklığı ile kurutma işleminin ekserji verimleri ve sürdürülebilirlik endeksi azalmış, ancak iyileştirme potansiyeli oranı arttığının sonucuna ulaşmışlardır. Li ve ark. (2021) enerji tasarruflu endüstriyel tahıl kurutmayı gerçekleştirmek için, yeni bir endüstriyel mısır kurutma sisteminde farklı sıcaklıklarda incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, optimize edilmiş kurutma işleminin, iki sabit kurutma işleminden daha iyi kinetik ve termal performans sergilediğini ifade etmişlerdir. Optimize edilmiş kurutma işleminin toplam ısı kaybı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimini sırasıyla 36.132,85 MJ, 48.803,99 MJ ve 7.290,27 kJ/kg olarak tespit etmişlerdir. Öte yandan, optimize edilmiş kurutma işlemi için kurutma odasının ısı verimini ise %6,81-41,71 aralığında bulmuşlardır. Genel olarak, optimize edilmiş kurutma işleminin kurutma sisteminin kurutma performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini sonucunu vurgulamışlardır. Mondal ve ark. (2021) mısır tanesinin kurutulması için bir karma akışlı kurutucunun enerji ve ekserji analizini çalışmışlardır. 3,0 ve 6,0 m/s hava hızında 40-80°C kurutma sıcaklığında gerçekleştirmişlerdir. 3,0 m/s hava hızında kurutma sıcaklığının artmasıyla enerji kullanım oranı azalırken, 6,0 m/s hava hızında 70 ve 80°C için farklı sonuçlar gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları ile karışık akışlı mısır kurutması için ekserji verimliliği ve ekserjetik iyileştirme potansiyelinin sırasıyla %8,54 ile %20,87 arasında ve 0,81 ile 11,12 kJ/s arasında değiştiğini göstermişlerdir. Obeng-Akrof ve ark. (2021) çalışmalarında, biyokütle brülörlü bir ısı kaynağına sahip 500 kg'lık portatif kolonlu kurutucu ile mısır kurutma deneyleri yapmışlardır. Sonuçlar, mısırın nem içeriğinin ortalama %1,81 kurutma hızı ve %64,7 kurutma verimliliği ile 5 saatte %22,3'ten %13,4 ± 2,6'ya düştüğünü göstermişlerdir. Çelik ve ark. (2022) çalışmasında tasarladıkları tahıl kurutucuda mısırın nem içeriğini kapasitans nem ölçme yöntemine dayanarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında 1 MHz frekans yapmışlardır. Eğri uydurma ile model çalışması yapmışlardır. Ölçülen kapasitans değeri ile dielektrik katsayısı hesaplamışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, mısırın nem içeriği azaldıkça dielektrik sabitinin de azaldığını

göstermişlerdir. Nem içeriği %20,96 (y.b) değerinde dielektrik sabiti (ϵ') 9,7 bulunurken, %8,8 nem içeriğinde dielektrik sabitini (ϵ') 3,9 olarak hesaplamışlardır. Prototip tahıl kurutucu ile dijital nemölçer verilerini karşılaştırmışlar ve değerlerin paralellik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Kurutma, tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan nemin uzaklaştırılmasıdır. Tarım ürünlerinin içerdiği su miktarı, ürünün yaş ya da kuru ağırlığına bölünerek nem oranı belirlenebilmektedir. Ürünün içerdiği su ağırlığı, ürünün yaş ağırlığına oranlanırsa yaş baza göre nem oranı (%y.b); ürünün içerdiği su ağırlığı, ürünün kuru ağırlığına oranlanırsa kuru baza göre nem oranı (%k.b) bulunmaktadır. Tarım ürünlerinin içerdikleri su miktarının bilinmesi ile güvenilir depolama için gerekli olan ürün nem içeriğinin hesaplanmaları yapılmaktadır. Tane mısırın güvenli depolanabilmesi için yaş baza göre nem değerlerinin %15'in altında olması gerekmektedir. Eğer 5 yıl depolanması gerekiyorsa da nem içeriğinin %13'ün altında olması gerektiği bilinmektedir. Tarım ürünlerinin kurutulması aşamalarında kuruma karakteristiğini etkileyen faktörler; ürün içerisinde nişasta, yağ, şeker vb. madde içeriği, kabuk kalınlığı, giren ve çıkan kurutma havasının sıcaklığı, giren ve çıkan kurutma havasının bağıl nemi, kurutma havasının miktarı ve hızı, ürünün kurutma kabineye yerleştirilme durumu ve kurutma havasının karşılaştığı dirençler şeklinde sıralanabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Bu derlemenin amacı, güncel mısır kurutma sistemleri hakkındaki bilgileri derlemek, kurutma sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılan kütle ve enerji denklemleri, ısı ve akış denklemleri ile kurutma sürecinde etkili olan parametreleri araştırmacıların yararına sunmaktır. Genel olarak, burada tartışılan ayrıntılar endüstriyel ölçekli kurutucuların geliştirilmesi için gereklidir.

2. Endüstriyel Mısır Kurutma Sistemleri

Endüstride mısır genellikle silo, kule ve karışık akışlı yatay veya dikey tip sürekli kurutucular ile kurutulmaktadır. Bu kurutucuların kapasiteleri genellikle saatte 20 ton'dan başlayarak 90 ton yaş mısır kurutacak şeklindedir. Kurutma işlemi ve kurutucu seçiminde dikkate alınması gereken temel ilke; istenen niteliklere sahip ürünün elde edilmesinde minimum enerji tüketimi ve mümkün maksimum kuruma hızına ulaşmaktır (Güngör ve Özbalta, 1977). Ticari kurutucuların tasarımında ana etken kurutucuda gerekli ısının en verimli kullanılmasıdır. Kurutucularda gerçekleştirilen ısı transferi kurutucu tipine göre değişmekte olup taşınım, iletim, ışınım veya bunların kombinasyonları şeklindedir (Güngör ve Özbalta, 1977). Araştırmacılar, en uygun kurutma yöntemini belirlemek için farklı kurutma yöntemlerini kullanmışlardır. En uygun kurutma yöntemi ile ürünün kalitesel özelliklerini kaybetmeden, enerji verimliliğini arttırarak ve çevresel etkilerini azaltmak hedeflenmektedir (Kovaci ve ark., 2018). Endüstriyel kurutucular genellikle %30-70 arasında verimlilik ile çalışırlar. Tasarımsal ve teorik hesaplamalardaki bilgi eksikliğinden dolayı enerji verimliliği düşmektedir. Enerji verimliliğinin düşüklüğünün başlıca sebeplerinin egzoz kurutma ortamının boşaltılmasındaki enerji kaybı, ısı izolasyonu yetersizliği, kurutma malzemesi ve kurutma ortamı, uygun olmayan kurutma yöntemleri olarak söyleyebiliriz (Jangam ve ark.,2010). Endüstriyel kurutuculardaki enerji verimliliği, olası tüm atık ısı kaynaklarını geri kazanarak sağlanabilir (Chua ve

ark., 2010). Kurutma yöntemlerinin en eski metodu olan güneşte kurutma, basitlik, düşük sermaye ve işletim maliyetlerinin düşük olması bakımından avantajlı olmasına rağmen ürünün kalite özellikleri bakımından yetersiz kalmaktadır (Silva ve ark., 2017). Kurutma işlemlerinde kurutma süresi ve modellemelerin en iyi tahminin yapılabilmesi için ürünün kurutma karakteristik özelliklerinin bilinmesi gerekir (Krokida ve Maroulis, 2000; Szadzinska ve ark.,2017).

Endüstriyel mısır kurutucularında, genellikle silo ve yatay tip kurutucular kullanılmaktadır. Bir endüstriyel kurutucunun çalışma prensibine bakıldığında, kurutucunun bileşenlerinden tahıl dönüştürücüler kolonunun iç tarafındaki daha hızlı kuruyan ürün ile dış tarafındaki ürünün yerini değiştirmek için kullanılmaktadır. Böylece homojen karışım sağlanmış olur. Dönüştürücülerin bu mekanizması ile daha dengeli rutubet çıkışı ve yakıt tasarrufu sağlanır. Bunker ile makinayı dolduran elevatör sisteminin sürekli olarak devreye girip çıkması engellenir. LPG ve doğalgaz ile çalışabilen çok noktadan püskürtmeli brülörler yüksek ve düşük alevde çalışma özelliğine sahiptir. Otomatik ateşleme sistemi ile çalışırlar. Otomatik alev algılayıcısı ve emniyet selenoidi güvenlik önlemleri bakımından önemlidir. Yakıt buharlaştırıcısı (LPG için) maksimum yanma verimini arttırmaktadır. Kurutma sistemlerinde kullanılan fanlar; aksiyal (eksenel akışlı) fanlar ve aadyal (dik akışlı) fanlardır. Kurutucularında genellikle kullanılan aksiyel fanlar geniş statik basınç aralığında çalışarak yüksek hava akışı sağlamaktadır. Böylece oldukça düşük enerji maliyeti sağlanmış olur. Toz toplama sistemi (kapalı sistemlerde) yıldız makaralar ile redüktörlü motor, zincir dişli sistem ile hareketi yıldız makaralara iletimi olur. İnvörtör sistemiyle istenilen devir ayarlanarak dozajlama sağlanır. Yıldız makaralar elektriksiz olarak ters dönüş yaptırılarak biriken tortuların temizliği yapılır. Boşaltma sistemi kollar vasıtası ile kuruyan ürünü ortadaki boşaltma koniğine doğru süpürür.

Kurutma işlemlerinde seçilen kurutma yöntemi ürün miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kurutulan ürünün miktarına bağlı olarak tavsiye edilen kurutma yöntemi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yıllık kurutulan ürün miktarına bağlı olarak tavsiye edilen kurutma yöntemi (Günerhan, 2005)

Kurutulacak ürün <i>(ton/yıl)</i>	Kurutma yöntemi
22-60	Isıtılmamış çevre havasıyla kurutma
60-445	Düşük sıcaklıkta kurutma+ısıtılmamış çevre havasıyla kurutma
445-1550	Sıcak havalı depo tipi kurutucularla kurutma
1550<	Sıcak havalı sürekli akışlı kurutucularla kurutma

Tablo 1’de ürün miktarı arttıkça sıcak havalı kurutma yöntemlerinin seçilmesinin uygun olacağını gösterilmiştir.

Endüstriyel mısır kurutma sistemlerinde seçilmesi gereken kurutucu tipleri Tablo 2.’de verilmiştir.

Tablo 2. Mısır kurutucularının sınıflandırılması

Endüstriyel mısır kurutma sistemleri	
1. Yerleşik tip	2. Taşınabilir tip
1.1. Silo Tipi Kurutucular	2.1. Devridaim yapan kurutucular
a) Yığın tipi	2.2. Devridaim yapmayan kurutucular
b) Sürekli akışlı tip	
-Dikey kurutucular (Kule ve kapalı tip)	
-Yatay tip kurutucular	

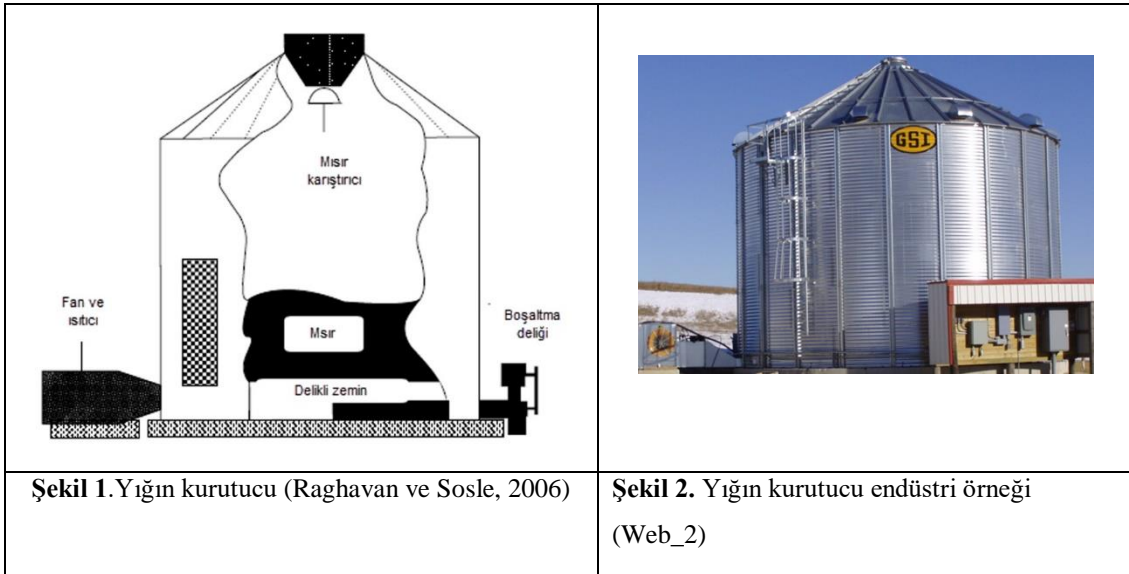
2.1. Yerleşik tip

2.1.1. Silo tipi kurutma

Silo kurutucular birçok ebat ve kapasitede üretilmektedir. Genellikle diğer tiplere göre daha düşük hava akış hızlarıyla çalıştırılırlar. Bu nedenle diğer kurutucu türlerinin çoğundan daha yavaş olmalarına rağmen genellikle enerji verimleri yüksektir. Silo kurutucu boyut seçiminin genel felsefesi, normal bir günde hasat edilecek kadar tahılın 24 saatte kurutulabilmesidir.

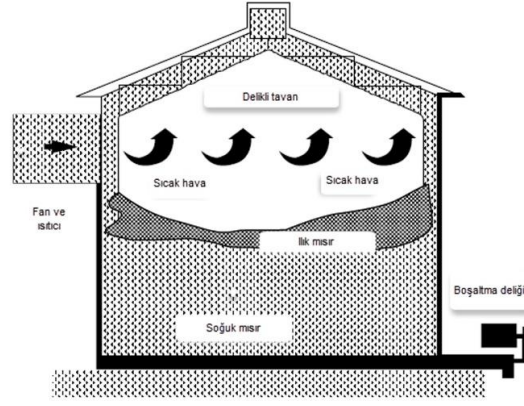
a) Yığın şeklinde kurutma

Kurutma için en ucuz kurulum, "kutuda yığın" işlemini kullanan kurulumdur. Bu sistemin ana bileşenleri, delikli zemine sahip bir silo, bir tahıl dağıtıcı, bir fan ve ısıtıcı ünitesi, bir süpürme burgusu ve bir alt zemin boşaltma burgusudur (Şekil 1). Isıtıcı fan, ilk tahıl yükü yerleştirildiğinde çalışmaya başlar ve ortalama tahıl nem içeriğini istenen seviyeye düşürmek için gerektiği kadar çalışmaya devam eder. Şekil 2’de endüstriyel kullanımına örnek verilmiştir.



Kurutma hızı; kuruma süresi, yığın yüksekliği, ısıtılmış havanın sıcaklığı ve hava akış hızı gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır. Genellikle, verimli kurutma için m^3 başına $450 m^3/saat$ ($9 cfm bu^{-1}$) oranına ulaşıldığında kurutmaya son verilir. Belirli bir yığın yüksekliği için, hava sıcaklığının yükseltilmesi

kurumayı hızlandırır ancak zemine yakın yerde aşırı kuruma olasılığını da artırır. Bu nedenle, ilk nem içeriği dikkate alınarak kurutulması gereken mahsul için güvenli bir hava sıcaklığı gereklidir. Depolamadan önce yeni kurutulmuş tahıllar soğutulmalıdır. Bu işlem, ısıyı kapatarak ve tahılın üzerine fan yardımıyla soğuk hava üflemek veya ılık tahıl havalandırılmış bir depoya aktararak orada soğumaya bırakarak yapılmaktadır. Yığın şeklindeki kurutma da, alternatif ısıtma ve soğutma döngüleri kullanmaktır. Bu, delikli zeminin yanındaki daha kuru tahıl ile tahıl sütununun tepesine yakın damper tanesi arasındaki nem farkını azaltır. Bazı hazneli kurutucular, tavanın yaklaşık 1 m altında delikli, koni şekilli kurutma zeminlerine sahiptir (Şekil 3). Delikli zeminin altına, tahılın içinden sıcak havayı üfleyen bir ısıtıcı fan ünitesi yerleştirilmiştir.



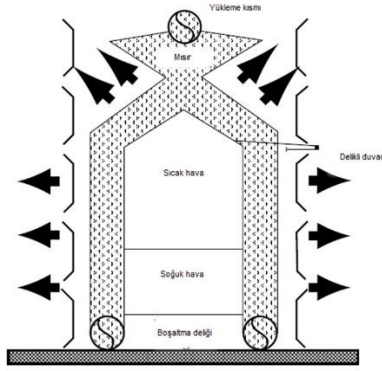
Şekil 3. Üstten kurutma zemine sahip bir hazneli kurutucu (Raghavan ve Sosle, 2006)

Kuru tahıl, bir havalandırma fanı ile soğutulduğu ambarın dibindeki delikli bir zemine düştüğünde, bir sonraki parti, yukarıdaki kurutucu zemine yüklenir ve kurutulur. Soğuk, kuru tahıl, zeminin altındaki bir burgu aracılığıyla başka bir depolama kabineye aktarılır. Bu sistemin avantajı, tahıl soğutulurken ve aktarılırken kurutmanın devam edebilmesidir.

Dikey karıştırma helezonları, daha düzgün kurutmayı sağlamaktadır. Aynı zamanda daha yüksek bir hava akış hızına izin vermektedir. Helezonların karıştırılması biraz daha düşük yakıt verimliliğiyle sonuçlansa da, artan kurutma hızı ile alt kısımda aşırı kurutmada azalma olmaktadır.

b) Sürekli akışlı kurutucular

Sürekli akışlı kurutucuların birçok türü olmasına rağmen, en yaygın türlerden biri, içinden sıcak havanın tahıl akışına dik olarak geldiği dikey tahıl sütunlulardır (Şekil 4 ve 5). Tahıl, üstten yüklenir ve boşaltma helezonlarına girmeden önce sıcak ve soğuk kısımların her iki tarafına da aktarılır. Tahıl akış hızı, manuel olarak veya tahıl sütununun dışına yakın bir termostatla kontrol edilir. Fan kapasitesi azaldığında veya kolon genişliği arttıkça, ısı daha verimli kullanılmış olacak ve iç ve dış katmanlar arasındaki ürün nem farkı artacaktır.

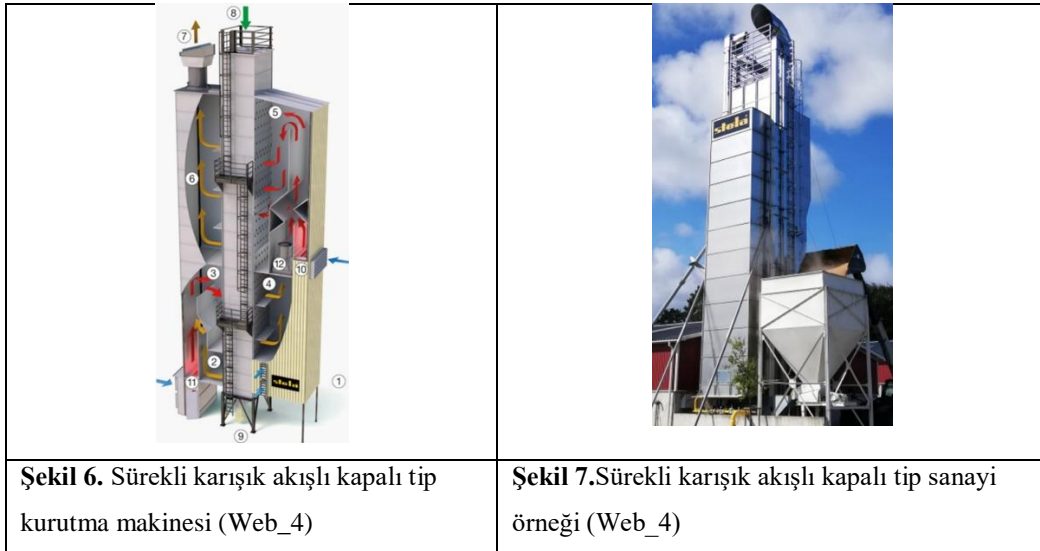


Şekil 4. Sürekli akışlı bir hazneli kurutucu
(Raghavan ve Sosle, 2006)



Şekil 5. Kule tipi (dikey) mısır kurutma makinesi
(Web_3)

Çevre ve enerji kısıtlamalarından dolayı karışık akışlı sürekli tip kurutucular daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Bu tip kurutucularda yanma odasından gelen egzoz gazı kurutma haznesine üçgen kesitli kanallar içerisinde girer ve tahıl içinden karışık akışlı düzenden geçerek bacaya sevk edilirler. Tozlu egzoz gazı doğrudan çevreye atılmaz, bir toz ayırıştırma sisteminden geçerek atmosfere gönderilir. Mısır kurutucularında üstte bulunan doldurma haznesinden mısır kurutucuya doldurulur, boşaltma hızına bağlı olarak aşağıya doğru taneler ilerler, en son soğutma haznesinden geçer ve makineden boşaltılır (Şekil 6. ve Şekil 7.).



Sürekli akışlı kurutucular, küçük miktarlarda farklı türdeki tahılların kurutulması için pek uygun değildir çünkü bu kurutucuların çalıştırılması ve boşaltılması verimsizdir. Düzgün bir akış sağlanana kadar doğru nem kontrolünün gerçekleştirilmesi zordur. Sürekli akışlı kurutucular, bir türden diğerine sık sık değişiklik yapılmadan büyük miktarlarda tahılın kurutulması gereken durumlarda en iyisidir.

2.2. Taşınabilir kurutucular

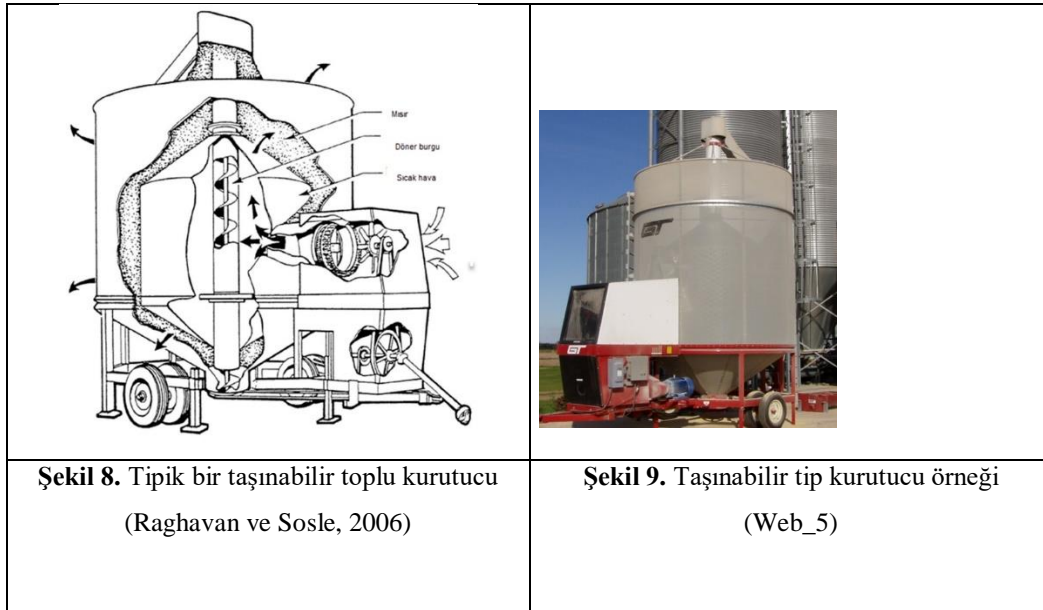
Portatif kurutucular genellikle çeşitli yerlere dağılmış tahıl kabinleri olan veya çiftlikte özel olarak kurutma yapan çiftçilere hitap eder. Acil bir durumda acil bir ihtiyacı karşılamak için portatif kurutucular kullanılabilir; ancak, kurulumunun ve sökülmesinin elverişsizliği nedeniyle tercih edilmezler. İki tip portatif kurutucu, (devridaim yapmayan ve devridaim yapan) vardır.

2.2.1. Devridaim yapmayan kurutucular

Sirkülasyon olamayan kurutucu türlerinin çoğu, tamamen kapalı eş merkezli silindir tipindedir. Bunlar tepeden yüklenir ve kurutma, bir tahıl kolonundan radyal olarak sıcak hava ile sağlanır. Hazne içinde yığın kurutma sistemine benzer şekilde, dış tabaka yeterince kuru kaldıkça, iç tahıl tabakası (sıcak hava bölmesinin yanındaki tabaka) aşırı kurumaya başlar. Bununla birlikte, tahıl kurutucudan çıkarılırken, nemli ve kuru tahıl karıştırılır, böylece daha sonraki kullanım için bir ürün ortaya çıkar. Bu tür otomatik kurutucular, ısıtma ve boşaltma döngülerini kontrol etmek için zamanlayıcılarla donatılmıştır.

2.2.2. Devridaim kurutucular

Portatif devridaim yapan kurutucular, sütunun altına yakın bir yerden tahıl alan ve üstte biriktiren merkezi bir burğu haricinde, esasen devridaim yapmayan modellerle aynıdır (Şekil 8 ve Şekil 9). Kabaca her 15 dakikada sirkülasyonu gerçekleştirir.



Bu türdeki en yaygın kurutucular, 10 ila 18,5 m³ (300 ila 525 bu) hazne kapasitesi arasında değişen boyutlardadır. Kurutucular, maksimum güvenli kurutma sıcaklığının aşılması koşuluyla, hemen hemen her mahsul için kullanılabilir. Bununla birlikte, dezavantajları, özellikle kuruyken bezelye ve arpa gibi bazı tohumlara zarar verebilmesidir.

Çevre havasıyla kurutmada kullanılan enerjinin %50'si elektrik enerjisinden %50'si de havanın enerjisinden sağlanır. Düşük sıcaklıkta kurutmada kullanılan enerjinin %50'si elektrik enerjisinden (fanın çalıştırılması için) % 50'si LPG'den (ısıtıcın çalıştırılması için) sağlanır. Yüksek sıcaklıkta kurutmada kullanılan enerjinin %2'si elektrik enerjisinden (fanın çalıştırılması) %98'i de LPG'den (ısıtıcının çalıştırılması için) sağlanır.

Bazı taneli ürünlerin ısıtılmamış havayla kurutulmaları sırasında ürünün ilk nemine bağlı olarak tavsiye edilen tane mısır %25 (y.b)'de hava akımı 0,067m/s olarak belirlendiğinde ürün yüksekliği 1,2 m'de 40,3 m³ ürün hacminde olmaktadır. Tane mısır nem %16, hava akımı 0,013, ürün yüksekliği 2,4 olduğunda 281,5 m³ olmaktadır.

Kurutulacak ürün iyi temizlenmiş olmalıdır. Hasat edilen nemli mısır havalandırmasız ortamda fazla bekletilmemelidir. Nemli ürünün bekletilmesi gerekirse, havalandırmalı ön siloda saklanmalıdır. Yüksek sıcaklıkta yapılan kurutma sonrası ürün sıcaklığı kademeli olarak düşürülmelidir. Yangın tehlikesini ortadan kaldırmak için kurutucu periyodik olarak temizlenmelidir. Kurutulan üründe periyodik olarak nem ve zedelenme durumu kontrol edilmelidir.

3. Teorik Esaslar

3.1. Materyal

Ürün nemi ölçüsü ve denge nemi

Tarım ürünlerinin özellikleri, bulundurdıkları su miktarına ve buldukları ortamın sıcaklığı dikkate alınmaktadır (Yağcıoğlu, 1999). Ürün içindeki nem içeriğini kuru ve yaş baza göre ifade etmek için (Türkan, 2020).

$$\%M_{kb} = \left(\frac{W_s}{W_k} \right) = \left(\frac{W - W_k}{W_k} \right) \quad (1)$$

$$\%M_{yb} = \left(\frac{W_s}{W_s + W_k} \right) \times 100 \quad (2)$$

ifadeleri kullanılmaktadır. Burada W ürünün başlangıç ağırlığı (gr) W_s ürün içerisindeki suyun kütlesi (gr) ve W_k kuru ürünün kütlesi (gr) olarak ifade edilmektedir. Tarım ürünlerinin nem tutma özellikleri sorpsiyon izoterm eğrileriyle gösterilir (Mujumdar, 2007). Tarım ürünlerinin sorpsiyon özellikleri su aktivitesi ve denge neminin hesaplanması ile belirlenir. Su aktivitesi, tarım ürün tarafından tutulan suyun özelliğini gösterir. Tarım ürünün içerdiği buhar basıncının, aynı sıcaklıkta saf suyun buhar basıncına oranı su aktivitesi değerini verir. Belli nem içeriğine sahip tarım ürünü, sabit sıcaklık ve bağıl nem ortamında bekletildiğinde, havadaki su buhar basıncıyla, tarım ürünü tarafından tutulan suyun buhar basıncı arasında fark oluşur. Bu farka bağlı olarak ürün nem alır veya nem verir. Dengeye ulaştığında ürünün ağırlığındaki değişim durur. Böylece ürün tarafından tutulan suyun buhar basıncı

havadaki suyun buhar basıncına eşit olur. Bu koşullarda ürünün içerdiği neme denge nemi denir. Ürün denge nemi durumunda havanın bağıl nemine de denge bağıl nem denir. Tarım ürünlerinde M_d (denge nemi) değerinin bilinmesi, hasat sonrası kurutma ve depolama sürecinde önem arz etmektedir. Bu nedenle, çoğu tarım ürünlerinde (un, nişasta vb.) M_d değerleri belirlemek için deneysel eşitlikler geliştirilmiştir. Mısır için en yaygın kullanılan eşitlik (3)'te verilmiştir (Jayas ve Cenkowski, 2016).

$$\varphi = 1 - \exp(-0,000067(T + 42,143)M_{kb}^{1,97}) \quad (3)$$

Eşitlik 3'te verilen; φ ve M , sırasıyla denge durumundaki bağıl nem ile ürünün kuru bazda nem içeriğini temsil eder. Burada T ; sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir (Henderson, 1952).

Tane sarı mısırın havanın farklı sıcaklık ve bağıl nem değerleri için denge nemi değerleri Tablo 3' de verilmiştir (Yağcıoğlu, 1999).

Tablo 3. Tane mısırın bağıl nem ve sıcaklığa göre denge nem değerleri

		Mısır denge nemi (%)									
Ürün	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Bağıl nem (%)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Mısır (tane, sarı)	10	6,6	8,0	9,3	10,8	12,2	13,8	15,2	17,5	21,8	
	32	4,9	6,6	7,7	9,3	10,8	12,4	14,0	16,2	19,3	
	49				8,36	10,0	11,2	13,1	14,9		
	68				7,4	8,4	10,0	11,5	12,2		

Difüzyon katsayısı

Sabit sıcaklıkta (izotermal) kütle iletimi koşullarında nem, kısmi buhar basıncı, ozmotik basınç ve bazı özel durumlarda da ürün içinde gelişen basıncın etkisiyle yer değiştirir. Ürün içindeki suyun, bir bölümünden başka bir bölümüne iletimin difüzyon ile meydana geldiği kabul edilmektedir. Fick difüzyon yasası (Curcio ve ark.,2008);

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \nabla(-D_{eff}\nabla M) = 0 \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Mısırın neminin sıcaklığa bağlı olarak etkilidir. Mısırın $0,15 < M < 0,30$ aralığında kuru baza göre nem içeriği ve $30 < T < 80$ sıcaklık aralığında difüzyon katsayısı D_{eff} (cm^2h^{-1}) ise (Yağcıoğlu,1999);

$$D_{eff} = 4,89 \cdot 10^{-4} \exp(0,0519 T) \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Yine başka bir çalışmada difüzyon katsayısı (Zhang ve ark., 2013) eşitlik 6'da verilmiştir.

$$D_{eff} = 7,817 \cdot 10^{-5} \exp(5,5 M) \exp(-4850 T) \quad (6)$$

Yığın yoğunluğu

Mısır numune kütlelerinin, dökme numunenin kapladığı hacme oranı olarak tanımlanır ve kg m^{-3} cinsinden ifade edilir. Yığın hacim, taneler arası hava ve tane hacmini içerir. Tahıl ticaretinde, kg hL^{-1} (lb / bu) olarak ifade edilen ölçülen tahıl hacminin kütlesi olarak tanımlanan test ağırlığı terimi kullanılır (Day, 1964):

$$\rho_b = \varepsilon \rho_t \quad (7)$$

Burada ε gözenekliliği, ρ_b yığın yoğunluğu (kg m^{-3}), ρ_t partikül yoğunluğu (kg m^{-3}) ifade eder.

Gözeneklilik

Taneler arası havanın kapladığı hacmin, toplu numunenin toplam hacmine oranı olarak tanımlanır ve yüzde olarak ifade edilir. Genellikle gözeneklilik, bir numunenin yığın ve partikül yoğunluklarından hesaplanır (Jayas ve Cenkowski, 2016):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (8)$$

Yuvarlaklık

Bir tanenin yuvarlaklığı, çekirdeğin en sabit konumunda yansıtılan alanının en küçük çevreleyen dairenin alanına oranı olarak tanımlanır (Jayas ve Cenkowski, 2016).

$$Y = \frac{A_p}{A_c} \quad (9)$$

Burada A_p : akışa veya yüzeye normal bir cismin öngörülen alanı (m^2) ve A_c : en küçük çevreleyen dairenin alanı (m^2)'dir.

Eşdeğer çap, d_e

Hacmi tane çekirdeğinin hacmine eşit olan bir küre, çekirdeğin eşdeğer küresi olarak tanımlanır. Eşdeğer hacimli kürenin çapı, çekirdeğin eşdeğer çapı olarak tanımlanır. Ortalama eşdeğer çekirdek hacmi, bir parçacık yoğunluğu yöntemi kullanılarak ve çekirdeklerin sayılmasıyla belirlenebilir. Eşdeğer çap ölçülen hacimden şu şekilde hesaplanır (Jayas ve Cenkowski, 2016).

$$d_e = \left(\frac{6V_e}{\pi}\right)^{1/3} \quad (10)$$

Genel olarak, 1000 çekirdeğin (rastgele seçilen) kapladığı hacim ölçülür ve ortalama eşdeğer hacim ve çap hesaplanır.

Geometrik ortalama çap, d_g

Tahıl çekirdeklerinin şeklini tanımlamak için kullanılan başka bir terimdir (Jayas ve Cenkowski, 2016).

$$d_g = (a \times b \times c)^{1/3} \quad (11)$$

Fiziksel olarak, a, b ve c terimleri, çekirdeği tamamen kapatacak olan en küçük paralel sırasıyla uzunluğu, genişliği ve yüksekliğidir. Endüstriyel mısırdaki kullanılan değerler Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. Mısır tanesi için değerler

Tohum	Eşdeğer çap d_e (mm)	Yüzey alanı A (mm ²)	Hacim V_e (mm ³)	Yığın yoğunluğu (kg/m ³) (%25 y.b)	Gözeneklilik (%)	Partikül yoğunluğu (kg/m ³)	Kaynak
Mısır	7,37	170	209	721	44	1270	(ASAE,1993; Bekasov ve Denisov,1952)

Silo tasarımında olduğu gibi silo tipi kurutma sistemlerinde de dikey yüzeylere karşı sürtünme katsayısına ihtiyaç vardır. Yapısal malzemelere karşı sürtünme katsayıları; çeşitli yapısal yüzeylere karşı kayma sürtünme katsayıları bir devirme masası kullanılarak belirlenir. Mısırın çelik yüzey ile sürtünme katsayısı 0,2 olarak alınabilir. Bu değer yanal yüklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Özgül ısı

Isı ve kütle geçişi hesaplamalarında ürünün özgül ısısına ihtiyaç duyulmaktadır. Nemli bir tarımsal ürünün özgül ısısı, kuru, c_{kb} veya yaş, c_{yb} , kütlesi ile ilişkilendirilebilir. Deneysel olarak, kuru kütlelerinin özgül ısısı, c_{kuru} ve üründeki özgül su ısısının toplamı olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki bağıntı, ürünün 1 kg kuru kütlesi için geçerlidir (Zhang ve ark.,2013);

$$c_{kb} = c_{kuru} + c_{su}M \quad (12)$$

Burada c_{kuru} ; kuru kütlelerinin özgül ısısı, c_{su} ; üründeki özgül su ısısı'dır. $M = 0,23$ (k.b.); ik sıcaklık $T_0 = 293K$; kurutma sıcaklığı $T_1 = 328K$, $T_2 = 338K$ ve $T_3 = 348K$ (Jia ve Cao, 1995) . Mısır tanesinin yoğunluğu (Neményive ark., 2000) $\rho = 1150 \text{ kg m}^{-3}$; havanın yoğunluğu $\rho_{hava} = 1,29 \text{ kg m}^{-3}$ 'tür. Özgül ısı şu şekilde ifade edilirse (Zhang ve ark.,2013);

$$cp_{mısır} = 3379M + 1433 \quad (13)$$

$$cp_{mısır} = 2565M + 1272,7 \quad (14)$$

Ortalama özgül ısı $cp_{\text{mısır}} = 2000 \text{ J/(kg K)}$; buharlaşan suyun gizli ısısı (Neményi ve ark., 2000) $h_{fg} = 2256267 \text{ J kg}^{-1}$; yüzey kütle transfer katsayısı $h_m = 0,05 \text{ m s}^{-1}$ 'dir (Haghighi ve Segerlind, 1988).

Yüzey ısı transfer katsayısı (Cao ve Zhu, 2001);

$$h_t = 100 G 0,49 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1} \quad (15)$$

Burada G , havanın kütle akış hızıdır ($\text{kg/m}^2\text{s}$).

Isıl iletkenlik (Zhang ve ark., 2013);

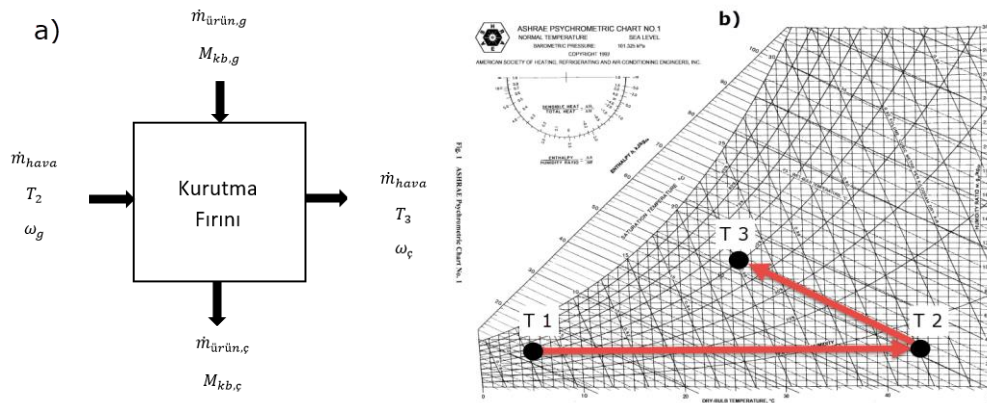
$$\lambda = \exp(-1,74 - 3,7M + 4,72 \times 10^{-3}T + 6,48M^2 - 1,5 \times 10^{-4}T^2 + 6,27 \times 10^{-2}MT) \quad (16)$$

λ mısır ısıl iletkenlik ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$); M nem içeriği (kuru baz); T mısır tanesinin sıcaklığı (K)'dir.

3.2. Metot

Kütle ve enerji denklileri

Endüstriyel kurutma fırınlarının boyutlandırılmasında sürekli akış kabulü yapılarak kütle ve enerji denklileri kullanılır. Tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan hava, hem üründen nemin buharlaşması için gerekli ısıyı sağlayan hem de oluşan su buharını ortamdaki uzaklaştıran bir akışkan ortamı olarak görev yapmaktadır. Kurutucu akışkanın (egzoz gazı veya atm havası) özellikleri psikometrik bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir. Şekil 10'da verilen psikometrik diyagramda atmosfer havası, dışarıdan enerji harcanarak T_1 koşullarından T_2 sıcaklığına getirilip kurutma fırınına girer. T_2 sıcaklığındaki kurutma havası, üründeki nemin buharlaşması ile yaş termometre sıcaklığı sabit kalacak biçimde nemlenerek kurutma fırınına terk eder.



Şekil 10. a ve b kurutma fırını enerji gösterimi ve psikometrik diyagram

Kurutucu akışkan (hava) ürün tabakaları arasında geçerken aldığı su buharından dolayı, başlangıçtaki mutlak nemi " ω_1 " gibi bir değerden " ω_2 " gibi bir başka değere yükselir (Yağcıoğlu, 1999; Çelik ve ark., 2021b). Kurutma işlemi sırasında, üründen buharlaştırılan su miktarı, kurutma havasının kazandığı su miktarına eşit olmalıdır. Buna göre buharlaştırılan su için kütle denkliği;

$$\dot{m}_{\text{ürün}}(M_{kb,ilk} - M_{kb,son}) = \dot{m}_{hava}(\omega_2 - \omega_1) \quad (17)$$

$$\dot{m}_{hava} = \frac{\dot{m}_{\text{ürün}}(M_{kb,ilk} - M_{kb,son})}{\Delta\omega} \quad (18)$$

Burada \dot{m}_{hava} ; havanın kütleli debisi (kg/s), $\dot{m}_{\text{ürün}}$; ürünün kütleli debisidir (kg/s).

Sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilebilir (Çelik ve ark., 2021b);

$$\sum E_g = \sum E_{\text{ç}} \quad (19)$$

Burada E_g ve $E_{\text{ç}}$; sisteme giren ve çıkan toplam enerjidir.

$$m_{\text{ürün}}h_{\text{ü},g} + m_{hava}h_2 = m_{kk}h_{\text{ü},\text{ç}} + m_{hava}h_3 + Q_{kayıp} \quad (20)$$

Ürünün giriş ve çıkıştaki entalpi değerleri:

$$h_{\text{ü},g} = (c_{p,\text{ü}} + M_{kb,g}c_{su})T_{\text{ü},g} \quad (21)$$

$$h_{\text{ü},\text{ç}} = (c_{p,\text{ü}} + M_{kb,\text{ç}}c_{su})T_{\text{ü},\text{ç}} \quad (22)$$

Burada $c_{p,\text{ü}}$ ve c_{su} , sırasıyla ürünün kuru kütleli ısı değeri ve suyun özgül ısı değeri. Kurutma sırasında havayı ısıtmak için gerekli ısı enerjisi (Ünal ve ark., 2020);

$$\dot{Q} = \dot{m}_{hava}(h_2 - h_1) \quad (23)$$

Burada h_1 ve h_2 ısıtıcıya giriş ve çıkış entalpilerini temsil eder. Alman Tarım Derneği (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) raporlarında sunulan tahıl kurutucuları için değerlendirme endekslerine göre tasarım hesaplamalarında standart koşullar; hava sıcaklığı 5°C, bağıl nem %80, hava basıncı 0,1013 MPa olarak alınmaktadır (Nowaka ve Przystupad, 2019). Hava için ısıtıcıya giriş ve çıkış entalpi değeri (Liu ve ark., 2015) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$h_{1 \text{ veya } 2} = 1,005Ta + \omega_a((1,86Ta) + 2501) \text{ kJ/kg} \quad (24)$$

Burada T_a ; atmosfer sıcaklığıdır.

Havanın özgül hacmi;

$$v = 22,4 \left(\frac{1}{29} + \frac{\omega_a}{18} \right) \frac{(Ta + 273) Ps}{273 Pa} \text{ m}^3/\text{kg} \quad (25)$$

Burada ω_a ; havanın özgül nemi (kgsu/kgkh), P_s ; standart atmosfer basıncı (MPa), P_a ; atmosfer basıncıdır (MPa).

Atmosferik havanın özgül nemi (Güneş, 2009);

$$\omega = 0,622 \frac{P_{sa}\varphi_{as}}{P - P_{sa}\varphi_{as}} \text{ kgsu/kgkh} \quad (26)$$

ile hesaplanır. Burada φ_{as} standart kurutma koşullarındaki bağıl nem, P_s standart kurutma koşullarındaki hava basıncıdır. Bağıl nem φ_s , Krischer yöntemi kullanılarak geliştirilen formül kullanılarak hesaplanır (Krischer ve Kast, 1978).

$$\varphi_s = \varphi \frac{PaPs}{Pt^2} \quad (27)$$

Burada, P_a atmosfer basıncı (0,992 MPa) P_s standart atm basıncı 1,013 MPa, P_t doymuş hava basıncı 0,1 MPa olarak alınır.

Kurutma fırınlarında verim genellikle ısı enerjisinden faydalanma oranı ile ifade edilmektedir. Isıdan faydalanma oranı, IFO (Mondal ve ark.,2019);

$$IFO = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_1} \quad (28)$$

Kurutucunun ısıtma ünitesinin gücü \dot{E} (Jokiniemi ve Ahokas, 2014);

$$\dot{E} = qV 3600, kW \quad (29)$$

Burada, q yakıtın ısı değeri (kJ/kg), V harcanan yakıtın hacimsel debisidir, (m³/saat). Özgül ısı enerjisi tüketimi E , standart kurutma koşulları altında buharlaştırmak için aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Lingayat ve ark., 2020):

$$E_{Toplam} = SEC + E_{Tahıl} + E_{\Delta h}, kJ/kg \quad (30)$$

Standart kurutma koşulları için değişen tahıl sıcaklığından kaynaklı ilave gerekli enerji, $E_{Tahıl}$, değeri;

$$E_{Tahıl} = \frac{m_{mısır} c_{mısır} (T_a - T_s)}{m_s}, kJ/kg \quad (31)$$

Burada T_a ; atmosfer sıcaklığı, T_s ; standart kurutma koşullarındaki sıcaklık, m_s ; buharlaştırılan su kütlesidir ($T_s=5^\circ C$). Ancak, bu denklem sadece kurutucuya temin edilen tahılın sıcaklığı kurutma sırasında ortam hava sıcaklığına eşitse uygulanmalıdır. Eğer kurutma koşulları için ayarlanan sıcaklık değeri standart kurutma koşulları için ayarlanan sıcaklıktan farklı ise, $E_{\Delta h}$;

$$E_{\Delta h} = \frac{Q(h_{hava} - h_{hava-s})(1 + \omega_a)}{3600 v m_s}, kJ/kg \quad (32)$$

Termal enerji;

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} CV_{yakıt} t \quad (33)$$

Burada $\dot{m}_{yakıt}$; tüketilen yakıt kütleli debisi,

Kurutma işlemi sırasında üründen 1 kg suyu buharlaştırmak için kullanılan enerji miktarı olan özgül enerji tüketimi (SEC), denklem (31) kullanılarak hesaplanmıştır (Yağcıoğlu,1999).

$$SEC = \frac{E}{m_s} \quad (34)$$

Kurutma fırınına giren kurutucu akışkanın enerjisi, üründeki nemi buharlaştırmak için kullanılır. Bu nedenle kurutucu akışkanın sıcaklığı düşer. Kurutma havasının sıcaklık değişimi enerji denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi yazılır; (Çelik ve ark., 2021a);

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{-ha}{\rho_h V_h c_h + \rho_h V_h \omega c_{su}} (T - \theta) \quad (35)$$

Burada a sembolü, spesifik alandır ($m^2 m^{-3}$) ve mısır için 784'e eşittir. Hacimsel ısı transfer katsayısı h_V , aşağıdaki gibi yazılırsa (Liu ve ark., 2015);

$$h_V = 0,2755 \rho_h V_h c_h a \left(\frac{2r_c \rho_h V_h}{\mu_h} \right)^{-0,34} \quad (36)$$

Burada V_h ; havanın hızı (m/s), μ_h ; havanın vizkozitesi (kg/mh), ρ_h ; havanın yoğunluğudur (kg/m^3).

Basınç düşümü tahmini

Yüksek tonajlı mısır kurutma makinelerinde mısır dairesel delikli kesite yerleştirilerek, sıcak hava çapraz olarak (kule tipi mısır kurutma makinesi) gözenekli ortama fan yardımıyla sevk edilir. Gözenekli bölgedeki basınç düşüşü ile havanın sevk edildiği kanal geometrilerinde yerel kayıpların ilave edilmesi ile toplam basınç düşümü tahmin edilebilir (Giner ve Denisenia, 1996; Abou-El-Hana ve Younis, 2008).

$$(\Delta P)_{Toplam} = \Delta P_{poroz} + \Delta P_{yerel} \quad (37)$$

Gözenekli bölgedeki basınç düşüşü metre uzunluk başına, ikinci dereceden denklem ile hesaplanabilir (Giner ve Denisenia, 1996; Abou-El-Hana ve Younis, 2008).

$$\Delta P_{porozite} = (R\dot{V} + S\dot{V}^2)L \quad (38)$$

Burada L ; yatak derinliğini ifade etmektedir. Denklemden yer alan S ve R katsayılarının ürün tipine göre farklılık göstermekte ve tane mısır için;

$$R = 1,12 \frac{c_1}{c_2} \quad (39)$$

$$S = 0,346c_2 \quad (40)$$

olarak verilmektedir. Burada mısır taneleri için c_1 ve c_2 sabitleri sırasıyla 2,07E+4 ve 30,4'tür. Ani daralan ve genişleyen kanallar için yerel kayıplar;

$$\Delta P_{yerel} = K \frac{\rho V^2}{2} \quad (41)$$

Burada K , ani daralmalar için yerel kayıp faktörüdür.

$$K = 0,75 \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right] \text{ ve } \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 > 0,715 \quad (42)$$

Burada D , hidrolik çapı temsil eder.

Benzer şekilde ani genişleme için;

$$K = \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}\right)^2 \quad (43)$$

Ayrıca yüzde 40 açık alan oranına sahip delikli plakalar için (Çelik ve ark., 2021a);

$$K = [(0,707(1 - f)^{0,375} + 1 - f)]^2 \frac{1}{f^2} \quad (44)$$

f açık alan oranıdır ve değeri % 40 olarak alınır. Kurutma makinesindeki fan gücü aşağıdaki denkleme göre hesaplanır (Mondal ve ark., 2019);

$$P = \frac{\Delta P \dot{V}}{\eta} \quad (W) \quad (45)$$

Burada η , fanın statik verimini \dot{V} ; hacimsel debiyi ifade etmektedir. Fan için elektrik tüketimi (Mondal ve ark., 2019);

$$E_{fan} = \frac{\Delta P \dot{V}}{\eta} \quad (46)$$

Elektrik enerjisi tüketimi aşağıdaki denkleme hesaplanır (Abeyrathna ve Amaratunga, 2017)

$$\dot{E}_{elk} = t \sqrt{3UI \cos \phi} \quad (47)$$

Burada U şebeke voltajı, I akım, $\cos \phi$ güç faktörü, t zaman (sn) ifade eder.

4. Sonuç

Endüstri alanında mısır kurutucular önemli yer tutmaktadır. Mısır kurutucularında prensip, çalışma şekli ve ürünün özellikleri, kapasite gibi verilerin bilinmesi kurutucuların tasarımında imalatı ve kontrol sistemlerinin teknolojik olarak geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Endüstri alanında tarımsal ürünlerin kurutulması sürecinde ürünün özelliklerinin bozulmaması ve kurutma teknolojilerinin geliştirilmesi için matematiksel hesaplamalar önemli yer tutmaktadır. Ar-ge çalışmalarıyla kurutucu tiplerinin geliştirilmesi çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

Tarımsal ürünlerin kendine has kuruma davranışı olup, farklı kurutma tekniklerinin kurumaya etkisi deneysel süreç ile belirlenir. Özellikle sürekli akışlı tahıl kurutma sistemlerinde, ürünün giriş nem değeri tahıl boşaltma hızı ile ilişkili olup, belli konumlara yerleştirilmiş sıcaklık ölçümleri ve nihai nem ölçümleri ile kontrol edilirler. Tahıl kurutma makinelerinin tasarımı için kütle ve enerji korunumu, ısı geçişi, kütle geçişi, gözenekli ortamda hava akışı, katı kütle akışı ve psikometrik bağıntılara ihtiyaç duyulur. Bu derleme makalesinde, kurutmanın temelleri, kurutma sistemleri, ürünlerinin kurutma özellikleri ve kinetiği ve kurutma özelliklerini etkileyen faktörler kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Ürün kalitesini iyileştirmek için, tasarım parametrelerinin optimize edilmesi önemlidir. Numune içindeki nem ve sıcaklık dağılımının ayrıntıları, çeşitli çalışma koşulları altında

malzemelerin kuruma özellikleri, etkin nem yayılımı ve aktivasyon enerjisi değerleri, bir kurutucunun başarılı tasarımı ve çalışması için son derece önemlidir. Bu parametrelerin tahmini, eş zamanlı ısı ve kütle transferi modellemesi ile mümkündür ve bu tür birçok model çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Yazarlar, endüstriyel düzeydeki kurutucularda gelişmiş kurutma özellikleri ve daha az enerji tüketimi ile çeşitli gıda malzemelerinin kurutulması için umut verici sistemlerin olduğunu ortaya koymuştur. Araştırma makaleleri, kurutma teknolojilerinin çoğunun henüz laboratuvar veya deneysel aşamada olduğunu vurgulamışlardır. Geleceğin araştırmaları endüstriyel ölçekte büyümeye öncelik vermelidir. Bu teknolojileri endüstriyel düzeye yükseltmek veya yenilikçi kurutucuların tasarımı için daha fazla olasılık, gıda işleme endüstrileri için çok faydalı olacaktır. Gelecekte, kurutma ile ilgili sorunları çözmek ve kurutma işlemi optimizasyonu için YSA, bulanık mantık, yapay zekâ vb. mükemmel bir araç olarak uygulanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makalede ,“Katkı Oranına” göre yazarlar sıralamasına uyulmuş olup, katkı sağlamıştır.

Kaynaklar

- Abeyrathna RMRD., Amaratunga KSP. Use of heat pump dehumidifiers on industrial drying of chili. International Journal of Scientific and Research Publications 2017; 7(12): 105-110.
- Abou-El-Hana NH., Younis MA. Pressure drop through shelled corn as affected by airflow rates, moisture content and air temperature. Misr J. Ag. Eng. Process Engineering 2008; 25(3): 944-956.
- ASAE. D241.4 Feb. Density, specific gravity, and mass–moisture relationships of grain for storage. 40th ed., Standards, Engineering Practices, and Data (Am. Soc. Ag. Eng.), St. Joseph, MI; 1993; 408–410.
- Asemu AM., Habtu NG., Delele MA., Subramanyam B., Alavi S. Drying characteristics of maize grain in solar bubble dryer. J Food Process Eng.2019; 43: 1-19, e13312.
- Bekasov AG., Denisov NJ. Crop handling after drying (in Russian), Zagotizdat, Moscow 1952.
- Chao C., Zhu W. Computer simulation of drying technology process of farm products. Chinese Agriculture Press, Beijing, 2001 China.
- Chua KJ., Chou SK., Yang WM. Advances in heat pump systems: a review. Applied Energy 2010; 87: 3611-3624.
- Curcio S., Aversa M., Calabro V., Iorio G. Simulation of food drying: FEM Analysis and Experimental Validation. Journal of Food Engineering 2008; 87: 541–553.

- Çelik E., Parlak N., Çay Y. Experimental and numerical study on drying behavior of corn grain. *Heat and Mass Transfer* 2021a; 57: 321-332.
- Çelik E., Parlak N., Çay Y. Exergy and energy analyses of corn drying process: an experimental study in a laboratory-scale dryer. *Heat Transfer Research* 2021b; 52(3): 1–13.
- Çelik E., Parlak N., Çay Y. Development of an integrated corn dryer with an indirect moisture measuring system. *Sâdhanâ* 2022; 47: 1-8.
- Day CL. Device for measuring voids in porous materials. *Agric. Eng.* 1964; 45(1): 36–37.
- FAO. Dünya Gıda ve Tarım Örgütü. FAOSTAT, Livestock primary. 2019, FAO Statistical Database (www.fao.org)
- Giner SA., Denisienia E. Pressure drop through wheat as affected by air velocity, moisture content and fines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 1996; 63(1): 73-85.
- Günerhan H. Endüstriyel kurutma sistemleri. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler, Tasarım Ve Uygulama Eki* 2005; 36(13): 1-10.
- Güneş ÇN. Gıda kurutma sistemlerinin ekserji Analizi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2009.
- Güngör A., Özbalta N. Endüstriyel kurutma sistemleri. III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, TES 046 Bildiri 1977:737-747.
- Haghighi K., Segerlind LJ. Modeling simultaneous heat and mass transfer in anisotropic sphere-a finite element approach. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 1988; 31(2): 629-637.
- Henderson SM. A Basic concept of equilibrium moisture. *Agric. Eng.* 1952; 33(1): 29–32.
- Hung N., Martinez R., Tuan TV., Gummert M. Development and verification of a simulation model for paddy drying with different flatbed dryers. *Plant Production Science* 2019, 22(1): 119-130.
- Jangam SV., Law CL., Mujumdar AS. Drying of foods vegetables and fruits, basic concepts and definitions 2010; 1: 13-29.
- Jayas DS., Cenkowski S. Grain property values and their measurement, Editor Marcel Dekker. *Handbook of Industrial Drying: hygroscopic properties*, 24 chapter, New York 2016, Basel.
- Jia C., Cao C. Process of tow-dimensional heat and mass transfer in corn kernel. *Journal of Beijing Agriculture Engineering University* 1995; 15(1): 45–51.
- Jokiniemi HT., Ahokas JM. Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. *Biosystems Engineering* 2014; 121: 209 -220.
- Krischer O., Kast W. *Trocknungstechnik* B and 1, die wissenschaftlichen grundlagen der trocknungstechnik, 3. Auflage, Springer, 1978, Berlin.
- Krokida MK., Maroulis Z. Quality changes during drying of food materials, drying technology in agricultural and food sciences. *Science Publishers* 2000; Chapter 7.

- Kovaci T., Dikmen E., Şencan Şahin A. Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı. *Teknik Bilimleri Dergisi* 2018; 8(2): 25-39.
- Li B., Zeng Z., Zhang X., Zhang Y. Study on the variable-temperature drying process of corn drying in an industrial corn-drying system equipped with a self-adaptive control heat exchanger. *Applied Sciences* 2021; 11: 2772.
- Lingayat AB., Chandramohan VP., Raju VRK., Meda V. A review on indirect type solar dryers for agricultural crops–dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy* 2020; 258: 114005.
- Liu Z., Wu Z., Wang X., Song J., Wu W. Numerical simulation and experimental study of deep bed corn drying based on water potential. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* 2015; 13.
- Mondal HT., Shiplu KSP., Sen KP., Roy J., Sarker MSH. Performance evaluation of small scale energy efficient mixed flow dryer for drying of high moisture paddy. *Drying Technology* 2019; 37(12): 1541–1550.
- Mondal HT., Hossain A., Sheikh AM., Akhtaruzzaman MD., Sarker SH. Energetic and exergetic investigation of a mixed flow dryer: A case study of maize grain drying. *Drying Technology* 2021; 39(4): 466–480.
- Mothibe KJ., Wang CY., Mujumdar AS., Zhang M. Microwave-assisted pulse-spouted vacuum drying of apple cubes. *Drying Technol.* 2014; 32: 1762–1768.
- Mujumdar AS. *Handbook of industrial drying* 2007. USA: CRC Press
- Neményi M., Czaba I., Kovács A., Jáni T. Investigation of simultaneous heat and mass transfer within the maize kernels during drying. *Computers and Electronics in Agriculture* 2000; 26(2): 123–135.
- Nowaka J., Przystupab W. Methods for assessing energy efficiency of grain dryers. *Agricultural Engineering* 2019; 23(2): 39-47.
- Obeng-Akrofi G., Akowuah JO., Maier DE., Addo A. Techno-economic analysis of a crossflow column dryer for maize drying in Ghana. *Agriculture* 2021; 11: 568.
- Silva V., Costa JJ., Figueiredo AR., Nunes J., Nunes C., Ribeiro TIB., Pereira B. Study of three-stage intermittent drying of pears considering shrinkage and variable diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering* 2016; 180: 77-86.
- Szadzinska J., Lechtanska J., Kowalski SJ., Stasiak M. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrason Sonochem* 2017; 34: 531-539.
- Raghavan VGS., Sosle V. Grain drying, Editor Marcel Dekker, *Handbook of Industrial Drying: hygroscopic properties*, 24 chapter. New York 2006, Basel.
- TOB. Tarım ve Orman Bakanlığı Tohumluk Tescil Ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara 2021, TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu verileri, Ankara; 2020.

- Türkan B. Endüstriyel malzemelerde eşzamanlı ısı ve kütle transferinin deneysel ve nümerik incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 2020.
- Ünal F., Bulut H., Kahraman A. Lpg yakıtlı endüstriyel yatay tip mısır kurutma tesisinin enerji ve maliyet analizi. DÜMF Mühendislik Dergisi 2020; 11(1) : 161-170.
- Yağcıoğlu A. Tarım ürünleri kurutma tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, Bornova-İzmir 1999.
- Yıldırım GH., Öner F. Mısır danesinin fiziksel ve besinsel yapısı, Harman Time 2020; 92: 1-7.
- Zhang S., Kong N., Zhu Y., Zhang Z., Xu C. 3D Model-based simulation analysis of energy consumption in hot air drying of corn kernels. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering 2013.
- Wang G., Wu W., Xu W., Xu Y., Fu YZD. Exergy analysis of an electric grain drying system with internal circulation of the drying medium of corn. International Journal of Exergy 2021; 37(1): 102-120.
- Web_1: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf> (Erişim tarihi: 14.02.2021)
- Web_2: <http://test.grainsystems.com.tr> (Erişim tarihi: 10.03. 2021).
- Web_3: <http://www.adakurutma.com.tr> (Erişim tarihi: 10.03. 2021)
- Web_4: https://www.stela.de/en/products/mobiler_durchlauftrockner_universal/ (Erişim tarihi:10.03.2021).
- Web_5:<https://gtmfg.com/grain-dryers/> (Erişim tarihi: 10.03. 2021)