



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Year (Yıl): 2023, Volume (Cilt):6, Number (Sayı):1

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 University Journal of The Institute of Science and Technology

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Editorial Board

(Editör Kurulu)

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

| | | |
|---|--|------------------------------|
| Dr. Öğretim Üyesi Hediye Kirli AKIN | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE | 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 Üyesi 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 | Bandırma Onyeddi Eylül Üniversitesi, BANDIRMA | oder@bandirma.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. Özge SÜFER | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE | ozgesufer@osmaniye.edu.tr |
| Doç. Dr. Deniz ŞAHİN | Gazi Üniversitesi, ANKARA | dennokalk@hotmail.com |
| Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE | fatihbozdag@osmaniye.edu.tr |
| Dr. Öğretim Üyesi Tefide KIZILDENİZ | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE | tkizildenz@ohu.edu.tr |
| Dr. Öğretim Üyesi Ezgi Pelin YILDIZ | Kafkas Üniversitesi, KARS | yildizezgpelin@gmail.com |

İstatistik Editörleri /Statistics Editors

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

Alan Editörleri/Konu Editörleri/Subject Editors

| | | |
|---|---|------------------------------|
| Prof. Dr. Mustafa BOĞA | Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, NİĞDE | mboga@nigde.edu.tr |
| 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 | ozgedzozr@gmail.com |
| Doç. Dr. Şeyda ŞAHİN | Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS | seydasahin@cumhuriyet.edu.tr |
| Dr. Öğretim Üyesi Didem DEMİR KARAKUŞ | Tarsus Üniversitesi, TARSUS | didemdemr@gmail.com |
| Dr. Öğretim Üyesi Muhammed ORDU | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE | muhammedordu@osmaniye.edu.tr |
| Dr. Öğretim Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE | mansurseymen@gmail.com |

*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 Üyesi Burcu Sünbül AYHAN | Türk-Alman Üniversitesi, İSTANBUL | burcu.ayhan@tau.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. 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 Onyediy Eylül Üniversitesi, BALIKESİR | oorhan@bandirma.edu.tr |
| Dr. Öğretim Üyesi Cavidan GÜL VARIŞ | 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

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

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TURKEY

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

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



The referees list (Hakem listesi)

Year 2023, Volume 6, Issue 1 list of referees is given below.
(2023 yılı, Cilt 6, Sayı 1'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

| Hakemler | Kurum |
|--------------------------------|--|
| Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ | Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, KONYA |
| Prof. Dr. Ahmet L. TEK | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, NİĞDE |
| Prof. Dr. Alpönder YILDIZ | Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, KONYA |
| Prof. Dr. Ashabil AYGAN | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, KAHRAMANMARAŞ |
| Prof. Dr. Aslıhan SEZGİN | Amasya Üniversitesi, AMASYA |
| Prof. Dr. Atakan AKSOY | Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, TRABZON |
| Prof. Dr. Aysun KOP | Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İZMİR |
| Prof. Dr. Ayşe Demet KARAMAN | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, AYDIN |
| Prof. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN | Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, ADANA |
| Prof. Dr. Banu DİRİ | Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi-Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL |
| Prof. Dr. Burak SENGOZ | Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR |
| Prof. Dr. Çiçek OZES | Dokuz Eylül Üniversitesi, İZMİR |
| Prof. Dr. Deniz ŞİRİN | Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, TEKİRDAĞ |
| Prof. Dr. Elif ÖĞÜT | Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, KOCAELİ |
| Prof. Dr. Esra MARTİN | Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi, KONYA |
| Prof. Dr. Fatma Aysun UÇUR | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, OSMANİYE |
| Prof. Dr. Fatma Seda BİLİR | Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, ANKARA |
| Prof. Dr. Fikret ANLI | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, KAHRAMANMARAŞ |
| Prof. Dr. Gamze SANER | Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, İZMİR |
| Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, OSMANİYE |
| Prof. Dr. Kadir BİLEN | Atatürk Üniversitesi, ERZURUM |
| Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ | Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ADANA |
| Prof. Dr. Mehmet YILMAZ | İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, MALATYA |

| | |
|-----------------------------------|---|
| Prof. Dr. Melis MİNİSKER | Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, HATAY |
| Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR | Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ISPARTA |
| Prof. Dr. Mevlüt GÜL | Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi, ISPARTA |
| Prof. Dr. Murat AYGÜN | Bitlis Eren Üniversitesi, BİTLİS |
| Prof. Dr. Mustafa BOGA | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE |
| Prof. Dr. Müge KANTAR DAVRAN | Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, ADANA |
| Prof. Dr. Müşerref ÖNAL | Ankara Üniversitesi, ANKARA |
| Prof. Dr. Naci KURGAN | Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, SAMSUN |
| Prof. Dr. Nermin ŞARLAK | Konya Teknik Üniversitesi, KONYA |
| Prof. Dr. Orhan BÜYÜKALACA | Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, ADANA |
| Prof. Dr. Osman KILINÇÇEKER | Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, ADIYAMAN |
| Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK | Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANTALYA |
| Prof. Dr. Paşa YALÇIN | Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, ERZİNCAN |
| Prof. Dr. Pınar ÇAMURLU | Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, ANTALYA |
| Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ | Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, BURSA |
| Prof. Dr. Rıza BİNZET | Mersin Üniversitesi Fen Fakültesi, MERSİN |
| Prof. Dr. Sait ENGİNDENİZ | Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, İZMİR |
| Prof. Dr. Seval Kutlu Akal SOLMAZ | Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, BURSA |
| Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN | Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, ÇORUM |
| Prof. Dr. Şebnem KUŞVURAN | Çankırı Karatekin Üniversitesi, ÇANKIRI |
| Prof. Dr. Tuğba KİPER | Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ |
| Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM | İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, HATAY |
| Prof. Dr. Vincenzo TUFARELLİ | University of Bari Aldo Moro, ITALYA |
| Prof. Dr. Yeliz KARAMAN | Sinop Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, SİNOP |
| Prof. Dr. Zeliha SELEK | Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANKARA |
| Prof. Dr. Ercan ERDİŞ | İskenderun Teknik Üniversitesi, HATAY |
| Doç. Dr. Ebru YÜCE BABACAN | Munzur Üniversitesi, TUNCELİ |
| Doç. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU | Manisa Celal Bayar Üniversitesi, MANİSA |
| Doç. Dr. Ahmet KAHRAMAN | Uşak Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, UŞAK |
| Doç. Dr. Ayla BİLGİN | Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, ARTVİN |
| Doç. Dr. Aysun BÖKE | Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, BALIKESİR |
| Doç. Dr. Başak Doğru MERT | Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA |
| Doç. Dr. Behlül SEVİM | Aksaray Üniversitesi Eskil Meslek Yüksekokulu, AKSARAY |
| Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK | Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi, ERZURUM |

| | |
|----------------------------------|---|
| Doç. Dr. Betül GÜNER | Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, ISPARTA |
| Doç. Dr. Bilgehan YILMAZ DİKMEN | Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, BURSA |
| Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, BİLECİK |
| Doç. Dr. Cahit GÜNER | Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, AFYON |
| Doç. Dr. Can Ali AGCA | Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, BİNGÖL |
| Doç. Dr. Cemil TÖLÜ | Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, ÇANAKKALE |
| Doç. Dr. Demet DEMİROĞLU | Kilis 7 Aralık Üniversitesi, KİLİS |
| Doç. Dr. Derya GÜLÇİN | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi, AYDIN |
| Doç. Dr. Didem GÖKÇE | İnönü Üniversitesi, MALATYA |
| Doç. Dr. Dilek TEKDAL | Mersin Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, MERSİN |
| Doç. Dr. Ebru CORUH | Gaziantep Üniversitesi, GAZİANTEP |
| Doç. Dr. Engin NAS | Düzce Üniversitesi Cumayeri Meslek Yüksekokulu, DÜZCE |
| Doç. Dr. Fadime ÖZDEMİR KOÇAK | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, BİLECİK |
| Doç. Dr. Fuat BOZOK | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, OSMANİYE |
| Doç. Dr. Füzün ASLAN | İnönü Üniversitesi, MALATYA |
| Doç. Dr. Gülden DOĞAN | Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ |
| Doç. Dr. Gülden GÖK | Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, AKSARAY |
| Doç. Dr. Gülsüm YALDIZ | Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, BOLU |
| Doç. Dr. Halide ŞAHAN | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, OSMANİYE |
| Doç. Dr. Halil ÖZDEMİR | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, OSMANİYE |
| Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU | Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ |
| Doç. Dr. İsa COŞKUN | Kırşehir Ahievran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, KIRŞEHİR |
| Doç. Dr. Jülide ÖNER | Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, UŞAK |
| Doç. Dr. Kamil Bekir AFACAN | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR |
| Doç. Dr. Mehmet Akif BOZ | Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, YOZGAT |
| Doç. Dr. Mehmet FİDAN | Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, SİİRT |
| Doç. Dr. Memik Taylan DAŞ | Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE |
| Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN | Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, ISPARTA |
| Doç. Dr. Mustafa KILIÇ | Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA |
| Doç. Dr. Müslüm DEMİR | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE |
| Doç. Dr. Nazan ŞAK | Marmara Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İSTANBUL |
| Doç. Dr. Nermin Merve YALÇINKAYA | Çukurova Üniversitesi, ADANA |
| Doç. Dr. Neşet Deniz TURGAY | Doğu Akdeniz Üniversitesi, KKTC |
| Doç. Dr. Nurdan SAYIN | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL |
| Doç. Dr. Nurhan KOÇAN | Bartın Üniversitesi, BARTIN |
| Doç. Dr. Özen ÖZER | Kırıkkale Üniversitesi, KIRIKKALE |

| | |
|---|--|
| Doç. Dr. Özge ÖZTEKİN | Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, GAZİANTEP |
| Doç. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU | Kafkas Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü, KARS |
| Doç. Dr. Pervin YEŞİL | Ordu Üniversitesi, ORDU |
| Doç. Dr. Saniye TÜRK ÇULHA | İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İZMİR |
| Doç. Dr. Selin KALKAN | Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, SİNOP |
| Doç. Dr. Sercan SERİN | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE |
| Doç. Dr. Seyda ŞAHİN | Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, SİVAS |
| Doç. Dr. Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ | Bursa Uludağ Üniversitesi, BURSA |
| Doç. Dr. Tahsin BOYRAZ | Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS |
| Dr. Öğr. Üyesi Cennet ESKAL | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Merve KESKİN | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, BİLECİK |
| Dr. Öğr. Gör. Barış ÖZLÜ | Aksaray Üniversitesi, AKSARAY |
| Dr. Öğr. Üyesi Başar SEVİNDİK | İzmir Demokrasi Üniversitesi, İZMİR |
| Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR | Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, SİVAS |
| Dr. Öğr. Üyesi Didem OVALI DÖNDAŞ | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Dilek Özlem ESEN | Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, KOCAELİ |
| Dr. Öğr. Üyesi Emine ATASOYLU | Doğu Akdeniz Üniversitesi, KKTC |
| Dr. Öğr. Üyesi Esra GÜRSOY | Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, AĞRI |
| Dr. Öğr. Üyesi Evren TURHAN | Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ADANA |
| Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Pelin YILDIZ | Kafkas Üniversitesi, KARS |
| Dr. Öğr. Üyesi Fatma Özge ÖZKÖK | Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, KAYSERİ |
| Dr. Öğr. Üyesi G. Nilay YÜCENUR | Beykent Üniversitesi, İSTANBUL |
| Dr. Öğr. Üyesi Gökmen SİĞİRCİK | Çukurova Üniversitesi, ADANA |
| Dr. Öğr. Üyesi Güfte CANER AKIN | İstanbul Gelişim Üniversitesi, İSTANBUL |
| Dr. Öğr. Üyesi Gülden SANDAL ERZURUMLU | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE |
| Dr. Öğr. Üyesi Hediye KIRLI AKIN | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi İbrahim DEMİR | Bitlis Eren Üniversitesi, BİTLİS |
| Dr. Öğr. Üyesi Kemal TOKER | Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, Ş. URFA |
| Dr. Öğr. Üyesi Keriman YÜRÜTEN ÖZDEMİR | Kastamonu Üniversitesi, KASTAMONU |
| Dr. Öğr. Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Merve GÖRE AKYÜZ | Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu, İZMİR |
| Dr. Öğr. Üyesi Muhammed ORDU | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAVİN | Amasya Üniversitesi, AMASYA |
| Dr. Öğr. Üyesi Murat Reis AKKAYA | Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA |
| Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal AKBULUT | Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, ÇANAKKALE |
| Dr. Öğr. Üyesi Nuh KORKMAZ | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Nurhan GÜRSEL ÖZMEN | Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, TRABZON |
| Dr. Öğr. Üyesi Nurten AKGÜN TANBAY | Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BURSA |
| Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DER | Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, BALIKESİR |
| Dr. Öğr. Üyesi Önder İDİL | Amasya Üniversitesi, AMASYA |
| Dr. Öğr. Üyesi Özlem AKTÜRK GÜMÜŞAY | Maltepe Üniversitesi, İSTANBUL |

| | |
|---------------------------------------|--|
| Dr. Öğr. Üyesi Özlem İPEK | Tarsus Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, MERSİN |
| Dr. Öğr. Üyesi Selen UYGUNGİL | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Selman ULUIŞIK | Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, BURDUR |
| Dr. Öğr. Üyesi Sercan KAYIN | Gümüşhane Üniversitesi, GÜMÜŞHANE |
| Dr. Öğr. Üyesi Serenay ÇALIŞ | Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE |
| Dr. Öğr. Üyesi Serra ALTINOLUK | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, MUĞLA |
| Dr. Öğr. Üyesi Sibel ULCA Y | Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, KIRŞEHİR |
| Dr. Öğr. Üyesi Şahin Tolga GÜVEL | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE |
| Dr. Öğr. Üyesi Şennan YÜCEL | Sinop Üniversitesi, SİNOP |
| Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN | Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ |
| Dr. Öğr. Üyesi Şule YÜCELBAŞ | Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, MERSİN |
| Dr. Öğr. Üyesi Tolga DEMİRCAN | Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE |
| Dr. Öğr. Üyesi Yaşar NACAROĞLU | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, KAHRAMANMARAŞ |
| Dr. Öğr. Üyesi Yeşim S. ÜNSEVER GÜLER | Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BURSA |
| Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Birgin ERSOY | Bursa Uludağ Üniversitesi, BURSA |
| Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Feride OLCAY | İstanbul Aydın Üniversitesi, İSTANBUL |
| Dr. Öğr. Üyesi Adem İMALI | Kilis 7 Aralık Üniversitesi, KİLİS |
| Dr. Kübra TÜMAY ATEŞ | Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, ADANA |
| Dr. Elif PAZVANTOĞLU | Dokuz Eylül Üniversitesi, İZMİR |
| Dr. Şenay SÜNGÜ ŞEKER | Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN |
| Dr. Şenay KEÇECİ | Gedik Üniversitesi, İSTANBUL |
| Dr. Özge ÇOLAKOĞLU HAVARE | Mersin Üniversitesi, MERSİN |
| Arş. Gör. Dr. Nazik Meziyet DİLEK | Selçuk Üniversitesi, KONYA |
| Arş. Gör. Dr. Birsen YILMAZ | Çukurova Üniversitesi, ADANA |
| Arş. Gör. Selin SARAÇ GÜLERYÜZ | Toros Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, MERSİN |
| Arş. Gör. Selen AVCI AZKESKİN | Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ |
| Arş. Gör. Orhan KEKLİKCİOĞLU | Erciyes Üniversitesi, KAYSERİ |
| Arş. Gör. Engin YILDIZ | İstanbul Gelişim Üniversitesi, İSTANBUL |
| Öğr. Gör. Rabia ACEMİOĞLU | Iğdır Üniversitesi, IĞDIR |



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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2023, Volume (Cilt):6, Number (Sayı):1

CONTENTS (İçindekiler)

| RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ) | Sayfalar |
|---|----------|
| Gamze DOĞDU OKÇU, Nazmiye Ebru ŞEN Hindi Kesimhanesi Atıksuyunda Fotokatalitik Arıtma ve Taguchi Metodu ile Optimizasyon <i>Photocatalytic Treatment of Turkey Slaughterhouse Wastewater and Optimization by Taguchi Method</i> | 1-20 |
| Zulaiha Gidado MUKHTAR, Dursun ÖZER, Fikret KARATAŞ, Sinan SAYDAM Some Biochemical Parameters of Eggplant Species From Turkey and Nigeria <i>Patlıcan Türlerinde Bazı Biyokimyasal Parametre İçeriklerinin Araştırılması</i> | 21-34 |
| Ferhat CERİTBİNMEZ, Elif Simay GÖKKAYA, Erdoğan KANCA MRR, EWR and KERF Analysis in Cold Work Tool Steel Machining in EDM Method by Copper and Brass Electrode <i>Bakır ve Pirinç Elektrot ile EDM Yönteminde Soğuk İş Takım Çeliği İşlemede MRR, EWR ve KERF Analizi</i> | 35-51 |
| Abdurrahman SEFALI Bayburt İlinde Yetişen Yabani Meyvelerin Tespiti ve Bazı İncelemeler <i>Detection and Some Examination of Wild Fruits Grown in The Bayburt Province</i> | 52-67 |
| Gazi GÖRÜR, Gizem BAŞER, Hayal AKYILDIRIM BEĞEN, Özhan ŞENOL, Başak AKYÜREK Sıcaklık Değişkenliğinin Afidelerin Yaşam Döngüsüne Etkileri: Dört Örnek Tür <i>Effects of Temperature Fluctuations on Aphids Life Cycle: Four Case Species</i> | 68-77 |
| Emrah KARADAĞ, Serdar GENÇ, Aylin AĞMA OKUR Alternatif Yem Hammaddesi Olarak Gıda Endüstrisi İşleme Yan Ürünlerinin Besin Madde İçeriklerinin Kimyasal ve Spektroskopik (NIRS) Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması <i>Food Industry Processing By-products as Alternative Feedstuffs and Comparison of Their Nutrient Analysis Results Obtained by Chemical and Spectroscopic (NIRS) Methods</i> | 78-89 |
| Hale BAKIR Çatı Tipi Güneş Enerji Sisteminde Kızılötesi Termal Teşhis ile Arıza Tespiti ve Önemi <i>Fault Detection and Importance in Solar Energy System with Infrared Thermal Diagnostic</i> | 90-105 |
| Serkan DEMİREL, Bestami TAŞAR, Yunus Ziya KAYA, Fatih ÜNEŞ, Mustafa DEMİRCİ Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık Smrgt, Anfis ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini <i>Estimation of Reference Evapotranspiration Amount Using Fuzzy Smrgt, Anfis and Multiple Linear Regression</i> | 106-120 |
| Seda ŞENGÜL, Çiler SİGEZE A Cohort Analysis of Food Expenditure Away From Home in Turkey <i>Türkiye'de Ev Dışı Gıda Harcamalarının Kohort Analizi</i> | 121-139 |

| | |
|---|---------|
| Alaaddin GÜNDEŞ, Ali DEĞİRMENÇİ, Ali Kemal SOĞUKSU Atık Seramik CPU ve Telefon Kartlarında Altın ve Diğer Değerli Metallerin Geri Kazanımı <i>Recovery of Gold and Other Precious Metals in Waste Ceramic CPUs and Phone Cards</i> | 140-150 |
| Süleyman EDİZ On Vertex-Edge Degree Based Properties of Sierpinski Graphs <i>Sierpinski Graflarının Tepe-Ayrıt Temelli Derece Özellikleri Üzerine</i> | 151-160 |
| Elif ERZAN TOPÇU, Mehmet İNCİ Dişli Kayış Tahrirli Elektromekanik ve Pnömatik Uzun Stroklu Eyleyicilerin Maliyet Analizi İncelemesi <i>Cost Analysis Investigation of Toothed Belt Driven Electromechanical and Pneumatic Long Stroke Actuators</i> | 161-179 |
| Burak GÜLMEZ Market Zinciri Ürün Dağıtım Probleminin Farklı Genetik Algoritma Versiyonları ile Çözümü ve Karşılaştırması <i>Optimizing and Comparison of Market Chain Product Distribution Problem with Different Genetic Algorithm Versions</i> | 180-196 |
| Mehmet AYBEKE Orkide Yumru Ontogenisi <i>Orchid Tuber Ontogeny</i> | 197-207 |
| Hanifi ÇAM, Madi BÜLBÜL Akdeniz Bölgesinde Kozmik Eş Radyasyon Doz Değerlerinin Expacs Programı ile Belirlenmesi <i>Determination of Cosmic Equivalent Radiation Value of Mediterranean Region Provinces with Expacs Program</i> | 208-219 |
| Abdul Rahim BABUR, Gözde TANTEKİN ÇELİK Türk Çimento Üreticilerinin 2015-2020 Yılları Arasında Finansal Açından Değerlendirilmesi <i>Financial Evaluation of Turkish Cement Manufacturers between 2015-2020</i> | 220-234 |
| Eray YILDIRIM, Eyüphan AVCI Sodyum Silikat Enjeksiyonlarında Sodyum Silikat Oranı, Viskozite, Sinerez ve Jelleşme Zamanları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Investigation of the Relationship Between Sodium Silicate Content, Viscosity, Syneresis and Gelling Times in Sodium Silicate Grouts</i> | 235-251 |
| Kemal ÇELİK Kille Çayı (Balıkesir) Planktonik Algleri ve Mevsimsel Değişiminin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değişkenlerle Olan İlişkileri <i>Planktonic Algae of Kille Stream (Balıkesir) and Their Seasonal Variation Related to Certain Physical and Chemical Variables</i> | 252-260 |
| Mehmet Erman MERT, Cihat HİLAL Investigation of Pseudo-residue Existence Obtained from the Hands of Employees in Various Business Lines <i>Çeşitli İş Kollarında Çalışanların Ellerinden Elde Edilen Yanıltıcı Kalıntı Varlığının Araştırılması</i> | 261-274 |
| Yağmur Özinal AVŞAR, Zeynel Baran YILDIRIM, Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLİ Kentsel Ulaşım Ağı Analizi, Sorun Tespit ve Çözüm Önerileri: Buca Koop. Mahallesi Örneği <i>Urban Transportation Network Analysis, Problem Determination and Solution Recommendations: A Case of Buca Koop. Neighborhood</i> | 275-288 |
| Azize DEMİRPOLAT, Ömer KILIÇ, Şinasi YILDIRIMLI, Eyüp BAĞCI Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası <i>Flora of Genç District (Bingöl) and Near Surroundings</i> | 289-309 |
| Ahmet ERİŞMİŞ, Nesrin ADIGÜZEL Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi <i>Economic Analysis of Cogeneration System for Atatürk University Campus</i> | 310-329 |
| Yasin Alparslan KURT, İsmet BOZ Örtü Altı Üreticilerinin Sosyo-Ekonomik Durumları, Yetiştiricilik Uygulamaları ve Pazarlama Tercihleri: Çarşamba İlçesi Örneği | 330-341 |

| | |
|--|---------|
| <i>Socio-economic status, growing practices and marketing preferences of greenhouse growers: The Case of Çarşamba</i> | |
| Salih YILMAZ, Mahmut FIRAT, Abdullah ATEŞ, Özgür ÖZDEMİR Dağıtım Sistemlerinde En Uygun Sayaç Yönetimi İçin Ekonomik İdari Kayıp Seviyesinin Belirlenmesi <i>Determination of Economic Apparent Loss Level for Optimal Meter Management in Distribution Systems</i> | 342-353 |
| Seda ÇAKIR NAMDAR, Osman Sedat SUBAŞI, Hilal YILMAZ, Cengiz SAĞLAM, Osman UYSAL, Mehmet Ali KİRACI Doğu Akdeniz Bölgesi Kiraz Üretimi, Pazarlaması ve Dış Ticaret Yapısı <i>Cherry Production, Marketing and Foreign Trade Structure in Eastern Mediterranean Region</i> | 354-368 |
| Gülşah BUGAY ÇAĞRI, Emel Ceyhun SABİR İş Güvenliğinde Fiziksel Risk Etmenlerinin Tespitinde İş Etüdü Tekniğinin Kullanımı-Bir Tekstil İşletmesi Örneği <i>The Using of Work Study Method in The Determination of Physical Risk Factors in Occupational Safety-A Textile Dyeing-Finishing Plant</i> | 369-382 |
| Nurhan KOCAN, Fatma Betül ALP Accessing The Ecocity Potential of Bartın (Turkey) <i>Ekokent Potansiyeline Erişim-Bartın/Türkiye Örneği</i> | 383-407 |
| Günnur PEŞMEN The Effect of Vitamin C in-ovo Injection on Incubation Results of Fertile Goose Eggs <i>Döllü Kaz Yumurtalarında Vitamin C In-Ovo Enjeksiyonunun Kuluçka Sonuçlarına Etkisi</i> | 408-415 |
| Musa DEMİR, Nesrin ADIGÜZEL R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Soğutma Kapasitesinin Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması <i>Comparison of Annual Energy and Economy Savings by Decreasing The Evaporator Cooling Capacity of R12, R22, R134A, R404A Refrigerants</i> | 416-426 |
| Özge Duygu OKUR Piyasada Satılan Çeşitli Yüksek Proteinli Laktozsuz Sütlerin Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan İçerikleri <i>Total Phenolic Substance and Antioxidant Contents of Various Lactose-Free High Protein Milks Sold in the Market</i> | 427-438 |
| Dilem AKTAŞ, Tuğba KİPER Kentsel Yaşam Kalitesi Yeşil Alan İlişkisi: Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Örneği <i>The Relationship Between Urban Life Quality and Green Area: The Case of Çorlu District of Tekirdağ Province</i> | 439-461 |
| Halime KAYAKÖKÜ Bazı Kaynak Sularında Radon Konsantrasyonlarının ve Etkin Doz Değerlerinin Belirlenmesi <i>Determination of Radon Concentrations and Effective Dose Values in Some Spring Waters</i> | 462-475 |
| G. Nilay YÜCENUR, M. Hakan YAZICI Global Location Selection for an Oral Health Center with a Sequential Method by SWARA&TODIM <i>Ardışık SWARA TODIM Yöntemleri ile Bir Ağız Sağlığı Merkezi için Global Lokasyon Seçimi</i> | 476-492 |
| Burak KOÇHAN, Emine ÇORUH, Metin Mutlu AYDIN Sürücülerin Tünel İşletim ve Güvenliği Algısı Üzerine Bir Araştırma <i>A Study on Drivers' Perception of Tunnel Operation and Safety</i> | 493-516 |
| H. Evrim TÜTÜNSATAR, Gökhan ÜNAL, M. Nuri DOLMAZ Menderes Masifinde Yeni Kuyularda Isı Akısı Hesabı: İncirliova, Aydın <i>The Calculation of Heat Flow in New Boreholes in Menderes Massif: İncirliova, Aydın</i> | 517-537 |
| Ahter Şimal KÖROĞLU, Belkıs ZERVENT ÜNAL İş Güvenliği Uzmanlarında Stres ile Sosyo-Demografik Özellikler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Investigation of the Relationship Between Stress and Socio-Demographical Properties in Occupational Safety Specialists</i> | 538-551 |

| | |
|---|---------|
| Hatice TEKOĞUL, Atilla ALPBAZ Türkiyede Bulunan Bazı Ekonomik Kabuklu Su Canlıları Üzerinde Çalışmalar <i>Studies on Some Economical Shellfish in Turkey</i> | 552-574 |
| Kutay AYDIN, Hakan KAZAN AISI 316L Alaşımın Tel Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisi <i>The Impact of the Cutting Parameters on the Surface Quality of AISI 316L with WEDM</i> | 575-584 |
| Burcu AKÇA İspir ve Kızılcahamam Kuru Fasulyesi için Gama Işını Lineer Soğurma Katsayıları ve Transmisyon Faktörlerinin Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma <i>An Experimental Study on the Measurement of Gamma-Ray Linear Attenuation Coefficients and Transmission Factors for Ispir Dry Bean and Kızılcahamam Dry Bean</i> | 585-593 |
| Hasan GÖKBAŞ Gaussian Quaternions Including Biperiodic Fibonacci and Lucas Numbers <i>Biperiodic Fibonacci ve Lucas Sayılarını İçeren Gaussian Quaternionlar</i> | 594-604 |
| Mesut EROL, Kayhan ATEŞ, Şükrü ÖZEN Elektrikli Araçlarda Kablosuz Güç Transferi Sistemi Tasarımı ve Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Değerlendirilmesi <i>Design of a Wireless Power Transfer System in Electric Vehicles and Assessment of the Electromagnetic Field Exposure</i> | 605-618 |
| Süleyman YALÇINKAYA, Şirin DURAN Poli (pirol-ko-o-amino fenol)/kitosan Kompozit Filmlerinin Farklı Monomer Oranlarındaki Çözeltilerde Elektrokimyasal Sentezi ve Karakterizasyonu <i>Electrochemical Synthesis and Characterization of Poly(Polypyrrole-co-o-aminophenol)/chitosan Composite Films in Solutions with Different Monomer Ratios</i> | 619-634 |
| Selma AKCAY, Selim BUYRUKOGLU, Unal AKDAG Stacked Heterogeneous Ensemble Learning Model in Mixed Convection Heat Transfer from a Vertically Oscillating Flat Plate <i>Dikey Salınımlı Düz Bir Levhadan Karışık Taşınım Isı Transferinde Yığılmış Heterojen Topluluk Öğrenme Modeli</i> | 635-654 |
| Koray KARABULUT, Doğan Engin ALNAK Farklı Desenli Bakır Plakaların Birleşik Jet Akışı ile Soğutulmasında Grafen Oksit (GO)-Su Nanoakışkanının Etkisi <i>Effect of Graphene Oxide (GO)-Water Nanofluid on Cooling Different Patterned Copper Plates with Combined Jet Flow</i> | 655-681 |
| Taylan GÜNAY Farklı Penetrasyon Sınıfına Ait Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of Rheological Properties of Bitumens Having Various Penetration Classes</i> | 682-699 |
| Fatma HAYIT, Sultan ACUN, Hülya GÜL Ticari Olarak Satışta Olan Glutensiz Makarnaların Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Tekstürel Kalitelerinin Belirlenmesi <i>Determination of Some Physical, Chemical and Textural Quality of Commercially Available Gluten-Free Pasta</i> | 700-719 |
| Aykut EMNİYET, Basri ÇALIŞKAN Finite Complete Rewriting Systems for the Monoids M, ρ, and M/ρ M, ρ ve M/ρ Monoidleri için Sonlu Tam Yeniden Yazma Sistemleri | 720-725 |
| Alper YILDIRIM Akdeniz'de Deniz Akıntı Hızı ve Güç Potansiyelinin İstatistiksel Analizi <i>Statistical Analysis of Sea Current Velocity and Power Potential in the Mediterranean</i> | 726-737 |
| Gülden DOĞAN Asteraceae Familyasına Ait Beş Türün Karyolojik Yönden İncelenmesi <i>Karyological Investigation of Five Species of the Asteraceae Family</i> | 738-748 |

| | |
|---|---------|
| <p>Efe ERİN, Güfte CANER AKIN, Ümit ALKAN Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri <i>Assessments Related to Occupational Health and Safety in the Basic Metal Sector and Solution Proposals</i></p> | 749-775 |
| <p>Onur GÜNGÖR, Gülay TOKGÖZ Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi: İskenderun-Arsuz Sahil Bandı Örneği <i>Visual Landscape Quality Assessment: The Sample of Iskenderun-Arsuz Coastline</i></p> | 776-791 |
| <p>İsmail ÜLGER, Mustafa ÖZDEMİR Atık Kırmızı ve Beyaz Üzüm Posalarının Alternatif Kaba Yem Kaynağı Olarak Silolanmasının Besin Madde Kompozisyonu ve Silaj Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri <i>Effects of Ensiling Waste Red and White Grape Pulp as Alternative Forage Source on Nutrient Composition and Silage Quality Traits</i></p> | 792-805 |
| <p>Makbule BAYLAN, Gamze MAZI, Bahri Devrim ÖZCAN, Sedat GÜNDOĞDU, Dilek TEKDAL DNA Barcoding and Phylogenetic Analysis of Two Species Populations of <i>Diplodus</i> from the Eastern Mediterranean Coasts of Turkey <i>Türkiye'nin Doğu Akdeniz Kıyılarında Yayılım Gösteren İki <i>Diplodus</i> Tür Popülasyonunda DNA Barkodlama Ve Filogenetik Analiz</i></p> | 806-817 |
| <p>Ayşegül KÖSE, Mustafa BAL Crystal structure and DNA binding properties of a sulfide bridged dimeric Schiff base compound <i>4,4'-diaminodifenil sülfür bazlı imin bileşiğinin spektral ve DNA bağlama özellikleri</i></p> | 818-831 |
| <p>Fidan Didem ARPACI, Recep KARA Afyonkarahisar'da Tüketime Sunulan Piliç Etlerinde <i>Campylobacter jejuni</i>, <i>Campylobacter coli</i> ve <i>Campylobacter lari</i> Varlığının Real-Time PCR ile Araştırılması <i>Investigation of <i>Campylobacter jejuni</i>, <i>Campylobacter coli</i> and <i>Campylobacter lari</i> in Chicken Meat for Consumption with Real-Time PCR in Afyonkarahisar</i></p> | 832-841 |
| <p>Abdullah YILMAZ A New Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace Distribution with Properties and Application to Wind Speed Data <i>Özellikleri ve Rüzgar Hızı Verilerine Uygulanması ile Yeni Çarpık-Simetrik Gudermannian-Laplace Dağılımı</i></p> | 842-853 |
| <p>Tolga KARAZEHİR Destekleyici Elektrolitin, Süperkapasitör için Elektrokimyasal Biriktirilmiş PEDOT/ERGO Elektrotlarının Kapasitans ve Empedans Özellikleri Üzerindeki Etkisi <i>Effect of Supporting Electrolyte on Capacitance and Impedance Properties of Electrodeposited PEDOT/ERGO Electrodes for Supercapacitor</i></p> | 854-872 |
| <p>Gökhan BAKTEMUR İn Vitro Koşullarda Farklı Konsantrasyonlarda Sodyum Klorür İçeren Besin Ortamlarının Kabak (<i>Cucurbita pepo</i> L.) Bitkisi Gelişimine Etkisi <i>Effect of Nutrient Media Including Sodium Chloride (NaCl) at Different Concentration on Squash (<i>Cucurbita pepo</i> L.) Plant Growth Under In Vitro Conditions</i></p> | 873-882 |
| <p>Tuba PEHLİVAN Amanos Dağları ve Çevresinin Eko-Gastronomik Açından Değerlendirilme Olanakları <i>Eco-gastronomic Evaluation Opportunities of Amanos Mountains and Its Surroundings</i></p> | 883-899 |
| <p>Selçuk YEŞİLTEPE Li İyon Pil Katot Nitrik Asitte Çözünme Koşullarının Belirlenmesi <i>Evaluation of Dissolution Conditions of Li-Ion Battery Cathode Material in Nitric Acid</i></p> | 900-907 |
| | |
| <p>DERLEMELER</p> | |
| <p>Atakan GERGER Aşağıdan Yukarıya Endüstri 4.0 Dönüşüm Yaklaşımı: Yalın Yönetim <i>Bottom-Up Industry 4.0 Transformation Approach: Lean Management</i></p> | 908-930 |
| | |

| | |
|--|-----------|
| Ayşe ALKAN, Onur SEVLİ Türkiye’de Yapay Zekâ Alanında Yazılmış Yüksek Lisans Tezlerinin İncelenmesi <i>Examination of Master’s Thesis Writed in The Field of Artificial Intelligence in Turkey</i> | 931-947 |
| Özlem GÖK, Seda BEYAZ, Abdullah ASLAN CRISPR/Cas9 System and Gene Editing Technology <i>CRISPR/Cas9 Sistemi ve Gen Düzenleme Teknolojisi</i> | 948-957 |
| Selenay DALKIRAN, Zeynep Feride OLCAY Ulusal Tez Merkezinde Yer Alan Meslek Hastalıkları Alanında Yazılan Tezlerin Bibliyografik Analizi <i>Bibliographic Analysis of Theses Written in the Field of Occupational Diseases in the National Thesis Center</i> | 958-969 |
| Hacer TÜFEKÇİ Keçi Sütü Üretimi ve Önemi <i>Goat Milk Production and Importance</i> | 970-981 |
| Elif ONAN, Hatice ÇÖLGEÇEN Antosiyaninlerin Yapısı, Hücrede Biyosentezi, Etkinlikleri ve Kullanım Alanları <i>Structure of Anthocyanins, Biosynthesis in Cell, Activities and Usage Areas</i> | 982-1005 |
| Berat ÇINAR ACAR, Zehranur YÜKSEKDAĞ Deri Endüstrisinde Krom Kullanımı ve Biyolojik Yöntemlerle Krom Giderimi <i>Chromium Use in Leather Industry and Chromium Removal by Biological Methods</i> | 1006-1029 |
| Meltem KUDRET, Gülperi DEMİR Yenilebilir Böceklerin Sürdürülebilir Beslenme ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Edible Insects in terms of Sustainable Nutrition and Health</i> | 1030-1051 |
| Gülşah KEKLİK, Bahri Devrim ÖZCAN Genetik Algoritmaların İşleyişi ve Genetik Algoritma Uygulamalarında Kullanılan Operatörler <i>Functioning of Genetic Algorithms and Operators Used in Genetic Algorithm Applications</i> | 1052-1066 |



Hindi Kesimhanesi Atıksuyunda Fotokatalitik Arıtma ve Taguchi Metodu ile Optimizasyon

Gamze DOĞDU^{1*}, Nazmiye Ebru ŞEN²

^{1,2}Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

¹<https://orcid.org/0000-0002-0278-8503>

²<https://orcid.org/0000-0002-1087-8939>

*Sorumlu yazar: gamzedogdu@ibu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.01.2022

Kabul tarihi: 06.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Atıksu arıtımı

Heterojen fotokataliz

Kanatlı endüstrisi atıksuyu

Yanıt yüzey metodolojisi (RSM)

ÖZ

Heterojen fotokataliz, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot ve fosfor gibi yüksek seviyede organik kirleticiler içeren kanatlı endüstrisinden ham hindi kesimhanesi atık sularının arıtımında umut verici yeşil bir teknoloji olup arıtım potansiyeli şimdiye kadar yeterince incelenmemiştir. Bu çalışmada, hindi kesimhanesi atık suyunun fotokatalitik bozunması, Taguchi yöntemine dayalı bir yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) uygulanarak incelenmiştir. Bu amaçla, kritik çalışma parametreleri; fotokatalizör konsantrasyonu (0,5-3 g/L, A), pH (2-10, B), hidrojen peroksit (H₂O₂) konsantrasyonu (0-20 mmol/L, C), lamba türü (UVA, UVC, D) ve katalizör tipi (TiO₂, ZnO, E) optimize edilmiştir. Bu deneysel faktörler karışık seviyelerde (4³ 2²) ele alınmış ve L₁₆ testleri uygulanarak çalışma parametreleri optimize edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre katalizör ve H₂O₂ konsantrasyonu ile pH parametreleri atık sudan KOİ gideriminde en önemli etkiye sahiptir. Optimum koşullar şu şekilde elde edilmiştir: başlangıç katalizör dozu 0,5 g/L (Seviye 1), pH 2 (Seviye 1), H₂O₂ konsantrasyonu 10 mmol/L (Seviye 3), lamba tipi UVA (Seviye 1) ve katalizör tipi ZnO (Seviye 2). Bu şartlar altında deneysel ve tahmini KOİ giderim verimleri sırasıyla %62 ve %63 olarak elde edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada, işletme maliyetini oluşturan en önemli faktör elektrik enerjisi tüketimi olurken kimyasal ve elektrik enerjisi maliyeti optimum koşullar altında 1.315 TL ve 32.325 TL olarak elde edilmiştir.

Photocatalytic Treatment of Turkey Slaughterhouse Wastewater and Optimization by Taguchi Method

Research Article

Article History:

Received: 07.01.2022

Accepted: 06.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Wastewater treatment

Heterogeneous photocatalysis

Poultry industry wastewater

Response surface methodology (RSM)

ABSTRACT

Heterogeneous photocatalysis is a promising green technology in the treatment of raw turkey slaughterhouse wastewater from the poultry industry, which contains high levels of organic pollutants such as chemical oxygen demand (COD), nitrogen and phosphorus, and its treatment potential has not been adequately studied until now. In this work, the photocatalytic degradation of turkey slaughterhouse wastewater was studied by applying a response surface methodology (RSM) based on Taguchi method. For this purpose, critical operating parameters; photocatalyst concentration (0.5-3 g/L, A), pH (2-10, B), hydrogen peroxide (H₂O₂) concentration (0-20 mmol/L, C), lamp type (UVA, UVC, D), and catalyst type (TiO₂, ZnO, E) were optimized. These experimental factors were handled in mixed levels (4³ 2²), and operation parameters were optimized by the application of L₁₆ tests. According to ANOVA results, catalyst

and H₂O₂ concentration and pH parameters have the most important effects on COD removal from wastewater. Optimum conditions were obtained as: initial catalyst dosage of 0.5 g/L (Level 1), pH of 2 (Level 1), H₂O₂ concentration of 10 mmol/L (Level 3), lamp type as UVA (Level 1) and catalyst type as ZnO (Level 2). Under these conditions, experimental and estimated COD removal efficiencies were obtained as %62 and %63, respectively. In addition, in the study, electrical energy consumption is the most significant factor that creates the operating cost, while the chemical and electrical energy costs are 1.315 TL and 32.325 TL under optimum conditions.

To Cite: Doğdu G., Şen NE. Hindi Kesimhanesi Atıksuyunda Fotokatalitik Arıtma ve Taguchi Metodu ile Optimizasyon. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 1-20.

1. Giriş

Günümüzde 295 milyondan fazla doğrulanmış vaka ile her kıtayı etkileyen COVID-19 salgını, yeterli miktarda sağlığa uygun ve temiz içme ve kullanma suyuna ulaşabilmenin insanlık için önemini göstermiştir (WHO, 2022). 21. yüzyılda küresel çapta en önemli problemlerden biri olan iklim değışikliği ve salgın hastalıkların yanı sıra, temiz içme suyu kaynaklarına ulaşım krizinin üstesinden gelebilmek ve günümüzde dünya genelinde %40'ın üzerinde insanı etkileyen su kıtlığı problemini çözebilmek amacıyla alternatif su kaynaklarının acilen keşfedilmesi veya mümkünse yenilikçi arıtım metotlarıyla arıtılan atık suların yeniden kullanılması gerekmektedir. (UN General Assembly, 2015). Diğer yandan, gıda endüstrisi ve tarım sektöründe oluşan son derece değışken miktar ve bileşimlerdeki atıksular, küresel ölçekte önemli bir çevre kirliliğini meydana getirmektedir (Hilares ve ark., 2021).

Küresel gıda talebindeki artışla birlikte tüketici için kırmızı ete göre daha ucuz ve yüksek güvenceye sahip olması yönleriyle kümes hayvanları için küresel talep artış göstermektedir (Baker ve ark., 2020; Bakar ve ark., 2019). FAO'ya göre 2017 yılında, yıllık 107 milyon ton beyaz et üretimi gerçekleşmişken 2023 yılında bu üretimin 10% artacağı öngörülmektedir (Weerasekara ve ark., 2016; FAO, 2017). Türkiye %1,9'luk pay ile dünya beyaz et üretiminde 10. sırada yer almış olup 2019 yılında 31 milyon ton beyaz et üretimi ve 440 bin ton beyaz et ihracatı gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2019; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Bolu ili ise, 2019 yılında beyaz et üretiminin %11'ini sağlayan Türkiye'nin en önemli beş kentinden biridir (TÜİK, 2019; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Tüm bu artan ucuz protein talebine karşılık, beyaz et üretimindeki artışa bağlı olarak her bir kanatlı işleme için kullanılacak su miktarı (yaklaşık 26,5 L/kanatlı) ve kanatlı et kesimhane atığı üretimi artmaktadır (Njoya ve ark., 2019). Kanatlı atıksuları, kan, yağ, gres, protein, ağır metaller ve temizlik için deterjanlar gibi farklı kompleks organik ve inorganik maddeleri yanı sıra yüksek konsantrasyonlarda biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve KOİ, azot ve fosfor gibi besi maddeleri, toplam askıda katı madde (AKM) ve patojenler de içerir (Bustillo-Lecompte ve ark., 2016; Basitere ve ark., 2016). Ayrıca, arıtılmamış kanatlı atıksularının çevreye deşarjı hem ötrofikasyon ve kirlenmiş suları kullanan canlılarda enfeksiyona bağlı sağlık risklerine hem de atık su arıtma tesisleri

drenaj sistemlerinde tıkanıklık ve köpük oluşumu gibi problemlere neden olur (Emamjomeh ve Sivakumar, 2009; Azrina Yaakob ve ark.,2018; Abdelhay ve ark., 2020). Bu nedenlerle, Türkiye gibi kanatlı ürünlerine artan talebe bağlı finansal fayda sağlayan ve su kıtı olarak adlandırılan ülkelerde, bu ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması için artan su kullanımı ve talebi sonucu oluşan büyük hacimdeki kanatlı atıksularının arıtılmasında yenilikçi arıtma teknolojilerinin aciliyeti kaçınılmazdır.

Türkiye’de kanatlı atıksularının arıtılması için kullanılan geleneksel yöntemlerin başında aerobik ve anaerobik biyolojik arıtım, koagülasyon/flokülasyon veya çözünmüş hava flotasyonu gelmektedir. Fakat bu yöntemler, sadece düşük kuvvetli atıksular için uygulanabilir olup, yüksek hacimli çamur oluşturmaları, uzun hidrolik bekleme süreleri, büyük hacimli reaktör ihtiyacı, askıda katı madde ve yağların birikimi sonucu düşük arıtım verimleri, aşındırıcı pıhtılaştırıcı ajanların depolanmasındaki güçlük ve ileri arıtım ihtiyacı dezavantajlara sahip olduklarından alternatif ve çevreyle dost arıtım proseslerine ihtiyaç duyulmaktadır (USEPA, 2009; Bazrafshan ve ark., 2012; Hilares ve ark., 2021). İleri oksidasyon prosesleri (İOP), özellikle hidroksil radikalleri (HO[•]) gibi oldukça reaktif radikal türlerin üretilmesine dayalı olup yüksek organik yük ve dayanıklı karaktere sahip atıksuların arıtılmasında oldukça verimlidir (Ferreira ve ark., 2020). İOP’lar içerisinde heterojen fotokataliz oldukça umut vadeden, verimli, ekonomik ve yeşil bir ileri oksidasyon metodu olup, TiO₂, ZnO gibi yarı iletken bir fotokatalizör ve ultraviyole (UV) veya güneş ışığı gibi bir foton kaynağına bağlı kirletici içermeyen ve tükenmeyen bir prosestir (Vela ve ark., 2019). TiO₂ (~3,2 eV) ve ZnO (~3,37 eV) yaygın olarak kullanılan fonksiyonel yarı iletkenler olup düşük maliyetleri, kimyasal kararlılıkları, toksik özellik göstermemeleri ve yüksek foto-duyarlılık özelliklerinden dolayı bu çalışmada tercih edilmiştir (Saikia ve ark., 2015; Yan ve ark., 2021). Heterojen fotokataliz yöntemi temel mekanizmaları, fotokatalizör özellikleri Doğdu Okçu ve ark. (2019) ile Özkal ve Pagano (2016)’nun çalışmalarında detaylı olarak ele alınmıştır.

Kanatlı sektörü atıksularının son yıllarda literatürde farklı ileri oksidasyon metotları kullanılarak arıtımı çalışılmıştır (Thirugnanasambandham ve ark., 2014; Raju ve ark., 2014; Eryuruk ve ark., 2018; Samsudin ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020; Garcia ve ark., 2020; Abdelhay ve ark., 2020; Cui ve ark., 2021). Bu çalışmada ise, ilk defa gerçek endüstriyel hindi kesimhanesi atıksuyunun heterojen fotokataliz prosesine arıtım performansı üzerinde fotokatalizör konsantrasyonu ve tipi (TiO₂ ve ZnO), pH, lamba türü (UVA ve UVC) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) konsantrasyonu gibi beş farklı bağımsız çalışma parametresinin Taguchi istatistiksel dizaynı ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada ham hindi kesimhane atık suyunun fotokatalitik arıtımının çalışma maliyeti kimyasal ve elektrik enerjisi tüketimi yönleriyle incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyaller

Çalışmada kullanılan nano tanecikli TiO₂ (AEROXIDE® P25 ≥ %99,5, anataz form, 21 nm, 35–65 m²/g BET yüzey alanı) ve ZnO (<5 µm partikül büyüklüğü, %99,9; <10-25 m²/g) fotokatalizörleri Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Bir oksitleyici ajan olarak kullanılan H₂O₂ (%30) de Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Deneylerde istenilen pH koşullarının sağlanabilmesi için sodyum hidroksit (NaOH, %99 saflık) ve sülfürik asit (H₂SO₄, %97 saflık) kimyasalları Merck firmasından temin edilmiştir.

2.2. Hindi Kesimhane Atık Suyu

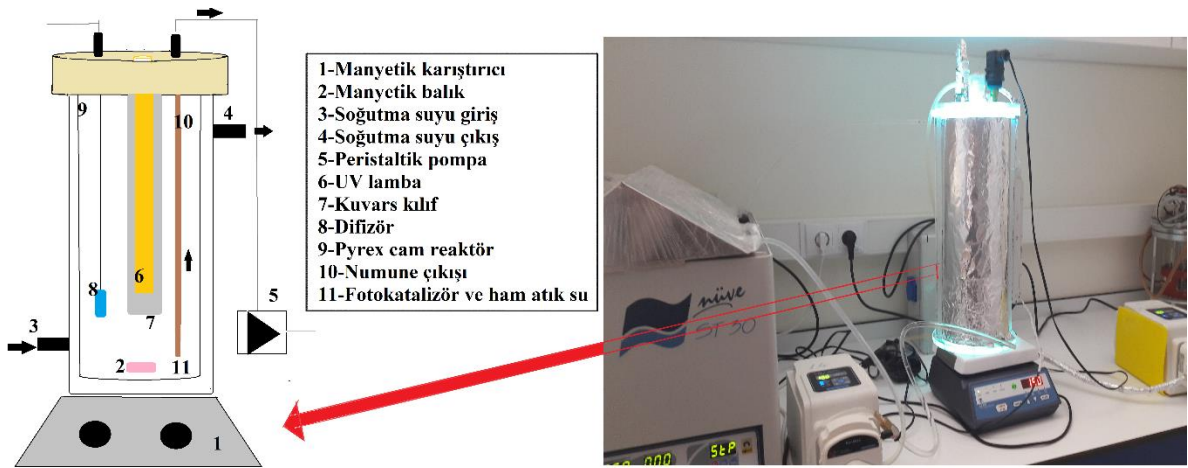
Hindi kesimhane atık suyu, günlük kapasitesi 7000 adet hindi olan ve ortalama 400 m³ hindi atık suyu üreten Bolu (Türkiye) ilinde yer alan bir entegre tavukçuluk tesisinden temin edilmiştir. Tesisin hindi kesimhane ünitesi çıkış borusundan alınan numuneler ışık almayan, ağzı kapalı amber plastik numune şişelerinde +4°C'de buzdolabında saklanmıştır. Tablo 1'de ham hindi atık suyunun karakteristiği özetlenmiştir.

Tablo 1. Ham hindi atık suyu karakterizasyonu. Veriler üç tekrarlı ortalama ± standart hatayı temsil eder

| Parametre | Birim | Değer |
|------------------------|-------|-----------------------|
| pH | - | 6,36 ± 0,01 |
| Sıcaklık | °C | 22,6 ± 0,06 |
| Redoks Potansiyeli | mV | 73,6 ± 0,71 |
| Elektriksel İletkenlik | µS/cm | 1622 ± 2,52 |
| Bulanıklık | NTU | 1546 ± 4,58 |
| Renk | Pt/Co | 4750 ± 50 |
| AKM | mg/L | 810 ± 127 |
| KOİ | mg/L | 2251 ± 15 |
| NH ₄ -N | mg/L | 153 ± 15,3 |
| NO ₂ -N | mg/L | 4,27 ± 0,21 |
| NO ₃ -N | mg/L | 35 ± 1,00 |
| PO ₄ -P | mg/L | 74 ± 3,00 |
| Fiziksel görünüm | - | Kırmızı kahverengimsi |
| T-N | mg/L | 605 ± 5,00 |
| T-P | mg/L | 21,6 ± 0,10 |

2.3. Reaktör Düzenegi ve Deneysel Metot

Fotokataliz deney düzenegi Şekil 1’de gösterilmiştir. Tüm fotokatalitik deneyler 140mm çaplı ve 300mm yüksekliğindeki çift cidarlı, silindirik Pyrex camdan üretilen kesikli bir reaktör içerisinde gerçekleştirilmiş olup çalışma hacmi 250 mL’dir. Reaktör fotokataliz süresince sabit $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın sağlanabilmesi amacıyla reaktör sürekli su sirkülasyonunun sağlandığı ceket sisteminden oluşmuştur. Çalışmada kullanılan fotokataliz reaktörü hakkında detaylı bilgi Doğdu Okçu ve ark. (2019) çalışmasında verilmiştir. Reaktör içerisine yer alan bir kuvars kılıf içerisinde PL-L UVA lamba (Philips) (36W; 315-380 nm; $110 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) ve UVC lamba (Philips) (36 W; 254 nm) yerleştirilmiştir. Çalışma boyunca bir difüzör yardımıyla ortama 3,5L/dk kapasitesinde hava verilmiştir. Reaktör içeriği katalizörün tüm reaktör boyunca eşit dağılım gösterebilmesi amacıyla deneyler boyunca 150 rpm’de bir manyetik karıştırıcıyla (Rocker HP 220) karıştırılmıştır. Reaktör, UV ışınlarının nüfuz etmesini önlemek için alüminyum folyo ile sarılmıştır. Adsorpsiyon durumunda sistemin dengeye ulaşmasını sağlamak için karanlıkta en az 30 dakika katalizör ilavesinin ardından reaktör içeriği karıştırılmıştır. Proses verimliliğini karşılaştırabilmek için fotokatalizörün sisteme eklenmeden fotoliz deneyleri de yapılmıştır. Ham hindi atık suyu numuneleri içeriğindeki tüy, kemik ve et parçacıklarını uzaklaştırmak için kaba filtreden geçirilmiş olup her bir deney öncesi ve sonunda numune alınarak 5000 rpm’de 15 dk santrifüjledikten sonra $0,45 \mu\text{m}$ ’lik filtrelerden geçirilerek katalizörün uzaklaştırılması sağlanmıştır. KOİ giriş ve çıkış suyu örneklerinde Standart Metotlar (2005) tarafından Merck Pharo 100 spektrofotometresi ve Merck test kitleri (1,14541, 25–1500 mg/L) kullanılarak ölçülmüştür. PH ve iletkenlik, Termo Orion 5 Star cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her bir deney 2 tekerrürlü olarak çalışılmıştır. KOİ ölçümlerinde H_2O_2 ile girişimi önlemek için pH 10’un üzerine çıkarılarak çıkış suyu numunelerinde ölçüm yapılmıştır (Talinli ve Anderson, 1992).



Şekil 1. Fotokataliz sistemi için deneysel kurulum

2.4. Taguchi Deney Tasarımı

Fotokataliz performansını etkileyen tüm parametreler Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak optimize edilmiştir. Taguchi ortogonal metodunun bu çalışmada kullanılmasının nedeni, en az deneyle zaman ve maliyetten tasarruf sağlayarak kalite farklılığını azaltıp tasarım parametrelerinin en iyi kombinasyonunu bulmayı amaçlamasıdır (Raj ve Quen, 2005; Adar, 2021). Tablo 2, çalışmada kullanılan L_{16} ($4^3 2^2$) ortogonal dizilimini göstermekte olup, 4 seviyeli 3 bağımsız ve 2 seviyeli iki bağımsız olmak üzere toplamda 16 deney setiyle 5 bağımsız faktörü (A:katalizör konsantrasyonu, B:pH, C:H₂O₂ konsantrasyonu, D:Lamba türü, E:Katalizör türü) ifade etmektedir. KOİ giderim verimi yanıt parametresi olarak fotokataliz proses performansını değerlendirmek için seçilmiştir.

Sinyal/gürültü oranı (S/N) arıtım performansının istatistiksel bir ölçütü olup Taguchi metodu tarafından deneysel sonuçları (KOİ giderim verimi, %) analiz etmek için kullanılır. Sinyal faktörü, sistemden alınan gerçek değeri tanımlarken gürültü faktörü, deney tasarımına katılmayan ancak deneyin sonucunu etkileyen faktörleri ifade eder. 3 temel S/N oranı vardır: en yüksek en iyi, en düşük en iyi ve nominal en iyi. Maksimum KOİ giderim performansı elde etmek için, “en büyük en iyi” (Denklem 1) S/N oranı seçilmiştir (Ross, 1996):

$$\frac{S}{N} [\text{dB}] = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \quad (1)$$

Burada n, deneysel tekrarların sayısı ve Y_i , i. deneyin performans değeri olarak tanımlanır.

Taguchi metodu ile optimizasyon ve istatistiksel analizler, Minitab 17.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneysel faktörler ve seviyeleri

| Faktörler | Sembol | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A: Katalizör konsantrasyonu (g/L) | A | 0,5 | 1 | 2 | 3 |
| B: pH | B | 2 | 5 | 7 | 10 |
| C: H ₂ O ₂ konsantrasyonu (mmol/L) | C | 0 | 5 | 10 | 20 |
| D: Lamba türü | D | UVA | UVC | - | - |
| E: Katalizör çeşidi | E | TiO ₂ | ZnO | - | - |

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Optimum Çalışma Şartlarının Belirlenmesi

Taguchi L₁₆ dizaynı ve deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. KOİ giderim verimi %10 ile %62 arasında değişiklik gösterirken en yüksek KOİ giderim verimi deney 3'de elde edilmiştir. Optimum KOİ giderim verimi seviyesi için, katalizör konsantrasyonu, pH, H₂O₂ konsantrasyonu, lamba türü ve katalizör çeşidi arasındaki en etkili proses parametresini belirlemek için Taguchi yanıt tablosu kullanılmıştır. Tablo 4'te Denklem 1 kullanılarak hesaplanan S/N oranları verilmiştir. Her bir parametre seviyesi için ortalama S/N oranları da Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. L₁₆ deney dizaynının deneysel ve tahmini sonuçlar

| Deney no | Faktör A | Faktör B | Faktör C | Faktör D | Faktör E | KOİ Giderim Verimi (%) | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------------|----------------|------------------|------------------------|
| | | | | | | S/N (dB) | Ortalama değer | Tahmini S/N (dB) | Tahmini Ortalama Değer |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32,75 | 43,41 | 32,11 | 42,28 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 30,88 | 34,98 | 31,52 | 36,10 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 35,86 | 62,08 | 36,68 | 62,78 |
| 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 2 | 34,32 | 52,02 | 33,50 | 51,33 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 30,15 | 32,16 | 29,64 | 30,70 |
| 6 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 21,67 | 12,12 | 22,18 | 13,57 |
| 7 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 26,19 | 20,39 | 26,37 | 20,53 |
| 8 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 29,83 | 31,02 | 29,65 | 30,88 |
| 9 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 31,61 | 38,05 | 31,86 | 39,06 |
| 10 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 24,87 | 17,51 | 24,61 | 16,50 |
| 11 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 20,59 | 10,70 | 20,16 | 10,12 |
| 12 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 23,21 | 14,47 | 23,64 | 15,05 |
| 13 | 4 | 1 | 4 | 2 | 1 | 25,88 | 19,68 | 26,77 | 21,24 |
| 14 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 26,87 | 22,05 | 25,97 | 20,48 |
| 15 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 24,14 | 16,11 | 23,57 | 15,85 |
| 16 | 4 | 4 | 1 | 1 | 2 | 19,63 | 9,58 | 20,20 | 9,83 |

Optimum koşullar A1, B1, C3 D1 ve E2'dir. S/N oranına göre, KOİ giderim verimi için optimum parametreler (koşullar), A (katalizör konsantrasyonu) seviye 1'de (0,5 g/L), B (pH) seviye 1'de (2), C (H₂O₂ konsantrasyonu) seviye 3'de (10 mM), D (lamba türü) seviye 1'de (UVA) ve E (katalizör çeşidi) seviye 2'de (ZnO)'dir. Optimum koşullara göre, %62 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

3.2. Ön Çalışmalar

Yapılan ön çalışmalar, fotokatalizör olmadan fotoliz prosesiyle UVA ve UVC ışık altında 45 dakika sonunda sırasıyla %13 ve %11 KOİ giderim performansı elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Yani, atık suyun fotolizi ihmal edilebilir düzeyde olup, fotokatalizörün (TiO_2 veya ZnO) varlığında gözlenen bozunmanın fotokatalizör aktivitesinden kaynaklandığı görülmektedir. Ayrıca, UV ışık olmadan, 45 dakika çalışma süresi sonunda 0,5 g/L TiO_2 kullanarak %5 KOİ giderimi elde edilmişken 0,5 g/L ZnO katalizörü ile %13 KOİ giderim verimi gözlenmiş olup katalizörler üzerinde kirleticilerin adsorpsiyonunun ihmal edilebilir olduğu söylenebilir. Verma ve ark. (2014), KOİ değerindeki azalmanın sebebinin katalizör yüzeyinde kirletici tek tabakanın oluşmasına bağlamaktadır. Yani ışınlanmış atıksuya fotokatalizörler eklenir eklenmez atık sudaki kirleticiler fotokatalizör yüzeyine adsorbe olarak tutunacak; bu da hiçbir serbest aktif bölgesi kalmayan tek kirletici tabakanın oluşmasına olanak sağlayacaktır. Optimum koşullar altında ise UVA ve 0,5 g/L ZnO varlığında KOİ giderim verimi %62'ye yükselmiş olup bu durum adsorpsiyon-desorpsiyon veya ara ürün oluşumunun elektron-boşluk oluşumuna göre oldukça yavaş olduğunu göstermiştir (Verma ve ark., 2014).

Bunun yanında, çalışmada UV lambanın açılmasından 45 dakika sonra KOİ giderim verimi maksimum olarak gözlemlenmiş olup bu dakikadan sonra çalışma süresinin artmasına rağmen oksidasyon sonucu muhtemel oluşan ara ürünlerden dolayı (Doğdu Okçu ve ark., 2019) KOİ giderim performansı hızla düşüş göstermiştir. Benzer olarak, Çancı ve Kılıç (2020) gül işleme atık sularının güneş ışığı ve TiO_2 kullanarak fotokataliz prosesiyle arıttıkları çalışmada, 30 dakika fotokataliz sonunda KOİ giderimini %11 olarak bulmuş olup, 30 dakikadan sonra reaksiyon hızının artan reaksiyon süresine karşın azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu durumu, oluşan renkli ara ürünlerin, ana moleküllerle rekabeti sonucu reaksiyon hızının ve dolayısıyla KOİ giderim performansının azalmasıyla açıklamışlardır (Ghaly ve ark., 2011). Bu nedenle bu çalışmanın süresi 45 dakika olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. KOİ giderimi (%) için S/N yanıt tablosu

| | KOİ Giderim Verimi (%) | | | | |
|--------|--------------------------------|-------------|--|--------------|------------------|
| | Katalizör konsantrasyonu (g/L) | pH | H_2O_2 konsantrasyonu (mM) | Lamba türü | Katalizör çeşidi |
| Seviye | A | B | C | D | E |
| 1 | 33,45 | 30,1 | 23,66 | 27,49 | 27,02 |
| 2 | 26,96 | 26,07 | 27,09 | 27,32 | 27,78 |
| 3 | 25,07 | 26,69 | 31,04 | - | - |
| 4 | 24,13 | 26,75 | 27,81 | - | - |
| Delta | 9,32 | 4,03 | 7,38 | 0,17 | 0,76 |
| Sıra | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 |

3.3. İstatistiksel Analiz

Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) beş bağımsız değişkenin ve bu değişkenlerin kendi aralarındaki etkileşimin önemini ortaya koymuş olup, sonuçta gözlemlenen toplan varyasyona göre her bir bağımsız faktörün ne kadar varyasyona neden olduğunu sonuçlardan çıkarmayı hedeflemektedir (Daneshvar ve ark., 2007). Tablo 5 fotodegradasyon prosesiye KOİ giderim veriminin ANOVA sonuçlarını göstermektedir. Parametrelerin istatistiksel önemi Fisher F-testi ile kontrol edilmiş olup, büyük F değeri, karşılık gelen terimin çok fazla anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Analiz %95 güven düzeyi, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyi için değerlendirilmiştir. 0,05'den küçük p değerleri parametrelerin önemini temsil ederken 0,1'den daha büyük değerleri model terimlerinin anlamsız olduğunu göstermektedir. Bu durum, gürültü nedeniyle bu kadar büyük bir p değerinin oluşma ihtimalinin sadece %5 olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 5. Fotokataliz prosesi tarafından ANOVA sonuçları

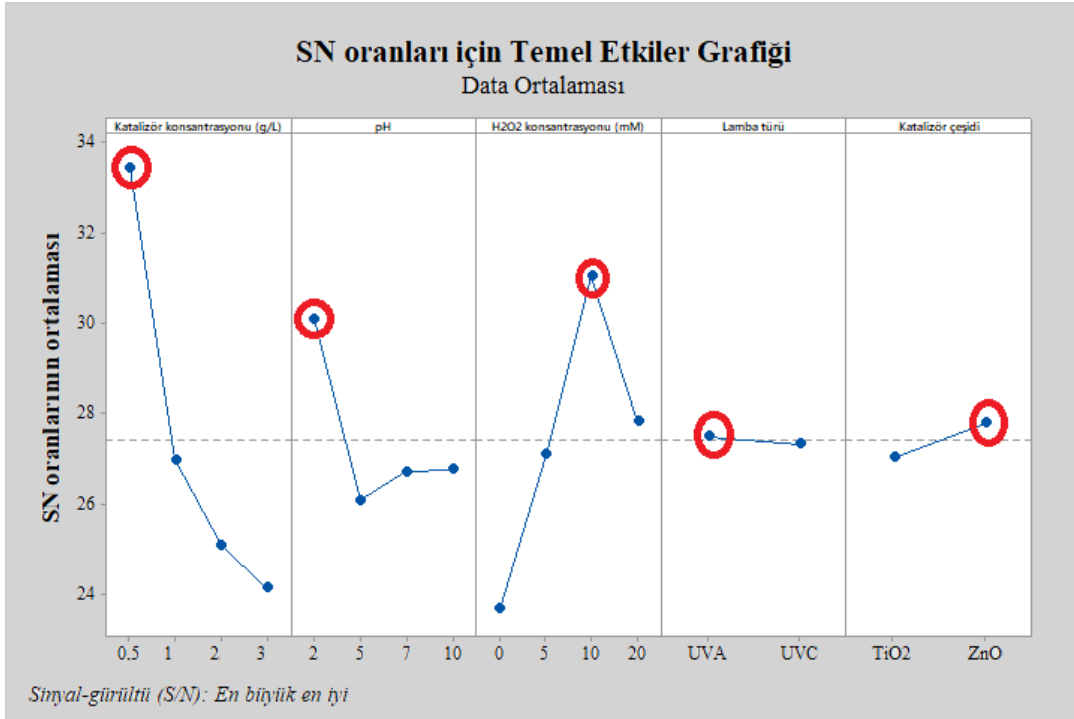
| Kaynak | Serbestlik Derecesi (DoF) | Kareler | | F Oranı | P-değeri | % Katkı |
|--------------|------------------------------|-----------------|--------------------|---------|----------|---------------|
| | | Toplamı (SS) | Ortalaması (MS) | | | |
| KOİ Giderimi | | | | | | |
| A | 3 | 2419,01 | 806,336 | 208,58 | 0,000 | %66,61 |
| B | 3 | 273,3 | 91,1 | 23,57 | 0,005 | %7,53 |
| C | 3 | 795,940 | 265,312 | 68,63 | 0,001 | %21,92 |
| D | 1 | 12,65 | 12,653 | 3,27 | 0,145 | %0,35 |
| E | 1 | 115,26 | 115,26 | 29,82 | 0,005 | %3,17 |
| Hata | 4 | 15,46 | 3,866 | | | %0,43 |
| Toplam | 15 | 3931,62 | | | | %100,00 |

Tablo 5'te verilen ANOVA sonuçlarına göre, KOİ giderimine katkıda bulunan istatistiksel olarak en önemli faktör katalizör konsantrasyonu (A) olup bunu sırasıyla H₂O₂ konsantrasyonu (C), pH ve katalizör çeşidi (E) takip etmektedir. Fakat KOİ giderimine %0,35 ile en düşük katkıyı sunan lamba türünün fotokataliz prosesine katkısı istatistiksel olarak anlamlı değildir (F=3,27, p=0,145, p< α). Tablo 5'e göre, hata %0,43 olup (<%50) sınır değerden oldukça küçüktür. Buna göre deneylerin hata payının istatistiksel olarak anlamlı değildir. R² ve düzeltilmiş R² değerleri sırasıyla 0,9957 ve 0,9840 olarak elde edilmiş olup her durumda, bu değerlerin tahmin edilen ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir korelasyon olduğunu doğrulamaktadır. Model korelasyon katsayısı değeri 0,80'den yüksek olduğundan prosesin regresyon modelleriyle açıklanabilir olduğunu göstermekte olup (Yazıcı Güvenç ve Varank, 2019) bir veya çoklu proses değişkenleriyle yanıtın (% KOİ giderimi) arasındaki matematiksel ilişkinin analizi böylelikle belirtilebilir.

Gerçek hindi atık suyu çıkış suyundaki KOİ giderim verimi üzerinde proses parametrelerinin temel etki grafiği Şekil2’de açıkça gösterilmiştir. KOİ giderimi üzerinde en büyük katkı (%67) gösteren fotokatalizör konsantrasyonu parametresi fotokatalitik parçalanma prosesinde oldukça büyük bir öneme sahiptir. 0,5-3 g/L arasında 4 farklı dozlarda fotokatalizör konsantrasyonları çalışmada test edilmiştir. Buna göre fotokatalizör konsantrasyonu 0,5 g/L’den 3,0 g/L’ye yükseldiğinde, S/N oranı hızla düşmüştür. Bu nedenle optimum fotokatalizör dozu 0,5 g/L olarak belirlenmiştir. Proses veriminin azalmasındaki en önemli sebepler şu şekilde sıralanabilir: 1. fotokatalizörün çözeltide yüksek miktarda varlığının bir sonucu olarak çözeltide bulanıklığın artması, UV ışınlarını bloke edecek veya yansıtacak böylece ışık nüfuzunu azaltarak kirleticilerin parçalanma hızını düşürecektir; 2. fotokatalizör partiküllerinin birikmesi veya kütlenin topaklanmasıyla katalizörün aktif bölgelerine daha az ulaşılabilirlik sağlanacaktır(Naresh Yadav ve ark., 2021; Tien ve ark., 2021; Thind ve ark., 2018; Chong ve ark., 2010).

İkinci olarak, H₂O₂ güçlü bir oksitleyici ajan olup foto-oksidasyon hızını arttırdığından dolayı Tablo 5’de belirtildiği gibi KOİ giderim verimi üzerinde en yüksek ikinci etkiye (%22) sahiptir. Şekil 2’de görüldüğü gibi, H₂O₂ konsantrasyonu 0 mmol/L’den 10 mmol/L’ye arttırıldığında, S/N oranı hızla artmıştır.

Bu çalışmadaki sonuçlara benzer olarak, Konstantinou ve Albanis (2004) çalışmasında TiO₂/UV ile birlikte H₂O₂’nin kullanılmasının hidroksil radikallerinin oluşumunu arttırdığını bildirmişlerdir. Fakat H₂O₂ konsantrasyonu 10 mmol/L’den 20 mmol/L’ye çıkarıldığında S/N oranı azalmıştır. Pouloupoulos ve ark., (2021) bu durumu H₂O₂’nin hidroksil radikalleri ile reaksiyona girebildiği için fotodegradasyon sürecini engelleyebilmesi ve böylece [•]OH tutucu olarak hareket etmesiyle açıklamıştır.



Şekil 2. KOİ giderim verimi (%) için S/N yanıt tablosu

Fotokatalitik oksidasyon prosesinde reaksiyon karışımının pH'ı fotokatalizörün yüzey yükünü etkilediğinden ve iyonlaşma derecesini belirlediğinden dolayı proseste kritik bir öneme sahiptir (Bukhari ve ark., 2019). Şekil 2'de görüldüğü gibi en yüksek S/N oranı asidik koşullarda pH 2'de elde edilmiş olup pH 2'den 5'e yükseldikçe, KOİ gideriminde marjinal bir düşüş sağlanmış ve son olarak pH hafifçe 10'a yükselme eğilimi göstermiştir. Bu eğilim hindi atık suyundaki başlangıçtaki organik bileşiklerin ara ürünlere ayrılarak sonuçta karbon dioksit ayrışan organik asitleri oluşturmasıyla açıklanabilmektedir (Poulopoulos ve ark., 2021). Yüksek pH değerlerinde, hidroksil radikallerinin oksidasyon potansiyeli ve oluşum hızı azalacağından dolayı KOİ giderimi düşmektedir (Ayare ve Gogate, 2020). Literatürde birçok farklı fotokatalitik oksidasyon çalışmasında kirleticilerin düşük pH koşullarında daha verimli bir şekilde fotokatalizörler tarafından parçalandığı görülmüştür (Ferreira ve ark., 2020; Bhatia ve ark., 2021; Domingues ve ark., 2021). TiO₂ ve ZnO fotokatalizörleri için yükün sıfır noktası (pH_{zpc}) sırasıyla yaklaşık 6,50 ve 9,0 olduğundan fotokatalizör yüzeyi asidik pHdeğerinde H⁺ iyonunu absorplayarak pozitif yüklenirken hindi atık suyundaki kirletici moleküller negatif yüklenerek hızla parçalanabilecektir (Prieto ve ark., 2005; Soltani ve ark., 2016).

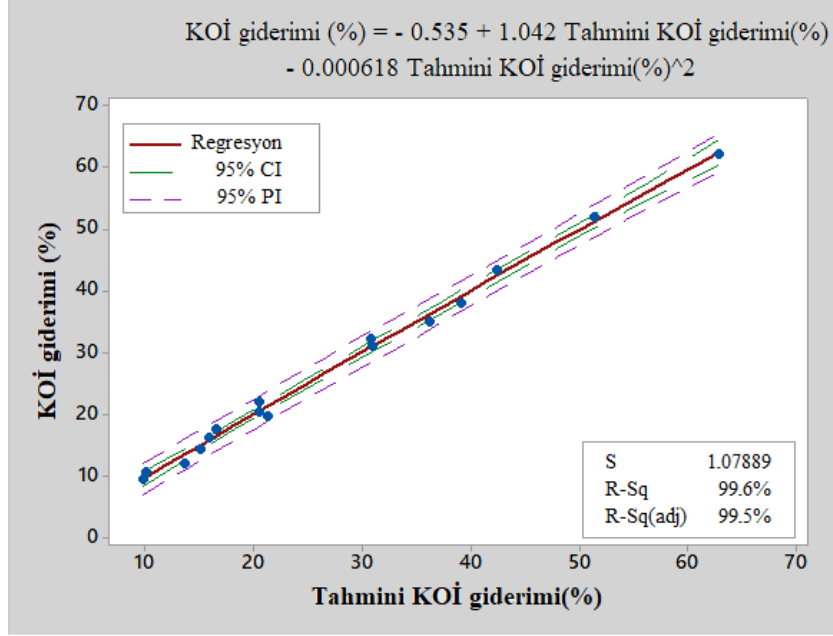
Ham hindi atık suyunun fotokatalitik oksidasyon prosesiyle arıtımında ultraviyole ışımaya türü istatistiksel olarak KOİ gideriminde anlamlı bulunmamıştır (F=3,27, p=0,125, p>α). Diğer yandan, Şekil 2'de gösterildiği gibi, ZnO fotokatalizörünün fotokatalitik performansı ham hindi atık suyundan KOİ gideriminde TiO₂ fotokatalizörüne göre daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Bunun nedeni, ZnO'nin TiO₂ ile benzer bant genişliği enerjisine (3,37 eV) sahip olmasına rağmen, boya vb. kirletici moleküllerin asidik ve alkali ortamlarda katalitik parçalanmasında daha yüksek bir performans sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Talebian ve ark., 2013; Bozkurt Çırak ve ark., 2019).

Regresyon analizi, bir veya birden fazla proses değişkeni ile yanıt (KOİ giderim verimi) arasındaki matematiksel bir ilişkinin modellenmesini veya analizini ifade etmektedir. Bu çalışmada, KOİ giderim verimlerinin tahmin edilmesinde kullanılacak denklemleri hesaplamak için regresyon analizi kullanılmıştır. Lineer modeller, TiO₂ katalizörü için Denklem 2 ve ZnO katalizörü için Denklem 3'de gösterildiği gibi denklem tahminleriyle formüle edilmiş olup lineer regresyon modeli denklemleriyle elde edilen R² değeri KOİ giderimi için %48 olarak elde edilmiştir.

$$\text{TiO}_2 \text{ katalizörü için; } \text{KOİ giderimi (\%)} = 41,2 - 10,40 \text{ Katalizör konsantrasyonu (g/L)} - 0,60 \text{ pH} + 0,451 \text{ H}_2\text{O}_2 \text{ konsantrasyonu (mM)} \quad (2)$$

$$\text{ZnO katalizörü için; KOİ giderimi (\%)} = 46,5 - 10,40 \text{ Katalizör konsantrasyonu (g/L)} - 0,60 \text{ pH} + 0,451 \text{ H}_2\text{O}_2 \text{ konsantrasyonu (mM)} \quad (3)$$

Şekil 3'te gösterildiği gibi, tahmini KOİ giderim verimi değerleri deneysel sonuçlarla iyi bir korelasyon sergilemiş olup KOİ giderimi için R^2 değeri %99,6 olarak hesaplanmıştır. İkinci dereceden regresyon modeli, lineer regresyon modelinden daha kapsamlı tahmin değerleri üretmiş olup daha iyi bir performans sergilemiştir.



Şekil 3. % KOİ giderimi için deneysel sonuçlarla karşılaştırılan ikinci derece regresyon modeli

3.4. Ekonomik Analiz

Endüstriyel işletmelerde kullanılan teknolojinin ekonomik etkisi, bu teknolojinin gerçek bir senaryoda uygulanabilirliğini belirlemede önemli bir faktördür. İdeal bir teknoloji endüstriyel tesiste işletim maliyetini azaltmak amacıyla verimli, maliyeti düşük ve uygulaması kolay olmalıdır (Fernandes ve ark., 2020). Ham hindi kesimhanesi atık sularının fotokataliz prosesiyle arıtımının endüstriyel bir tesise uygulanabilirliğini test etmek amacıyla prosesin ekonomik analizi mineralizasyon prosesinin analiziyle (ham atık sudan KOİ degradesyonu) yapılmıştır. Yapılan ekonomik analizde Deney 3'deki optimum koşullar altında elde edilen maksimum KOİ giderim koşulu dışında %30 ve üstü KOİ'nin giderildiği denemelerdeki (Deney 1,2,4,5,8,9, Tablo 3) toplam maliyet (enerji ve kimyasal) Tablo 7'de gösterilmiştir. İşletme maliyeti, kimyasal ve enerji maliyetlerinin toplamına eşittir. Toplam harcanan güç (kWh) ve toplam elektrik tüketimi maliyeti her g KOİ giderimi için (TL/g) Denklem 4 ve Denklem 5'e göre hesaplanmıştır (Asha ve ark., 2015):

$$\text{Toplam harcanan güç (kWh)} = \frac{\text{Harcanan güç (W)} \times \text{Reaksiyon süresi (dk)}}{(1000 \times 60)} \quad (4)$$

$$\text{Toplam elektrik tüketimi maliyeti (TL/kg)} = \frac{\text{Toplam harcanan güç (kWh)} \times \text{Gücün birim maliyeti} \left(\frac{\text{TL}}{\text{kWh}} \right)}{\left(C_{\text{başlangıç,KOI}} - C_{\text{çıkış,KOI}} \right) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{Çalışma hacmi (L)}} \times 10^3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) \quad (5)$$

Reaktif ve katalizör gibi kimyasal fiyatları ile kullanılan farklı cihazların elektrik tüketimi maliyetlerin hesaplanmasında kullanılmış olup Tablo 6’da maksimum KOİ giderimine karşın tüketilen kimyasal miktarları verilmiştir.

Tablo 6. Kimyasal, elektrik maliyetive elektrik gücü

| ELEKTRİK GÜCÜ | |
|---|-----------|
| Peristaltik pompa *2 | 0,06 kW |
| Hava pompası | 0,003 kW |
| UV lamba | 0,036 kW |
| ENERJİ MALİYETİ (sanayi) (TEDAŞ, 2021) | |
| 64.8683kr/kWh | |
| KİMYASAL MALİYETİ* | |
| Hidrojen peroksit | 25,2 €/L |
| TiO ₂ katalizörü | 2,02 €/g |
| ZnO katalizörü | 0,136 €/g |
| Arıtılan atık suyun hacmi | 0,25 L |

*1 € ≈ 15 TL olarak alınmıştır.

Tablo 7’de çalışmadaki KOİ gideriminin %30 ve üstü olan deneylere ait toplam kimyasal ve elektrik enerjisi tüketimi özetlenmiştir. Kimyasal maliyeti, deneylerde kullanılan katalizör ve hidrojen peroksitin toplamına eşittir. Toplam elektrik gücü UV lamba, hava pompası ve peristaltik pompaların toplamına eşittir.

Tablo 7’ye göre maksimum KOİ gideriminin gerçekleştiği (%62) Deney 3’te toplam elektrik tüketimi %96 (32 TL/g KOİ) iken toplam çalışma maliyetinin sadece %4’ünü (1TL) kimyasal maliyeti oluşturmaktadır. Ayrıca H₂O₂ kullanım miktarı arttıkça, toplam elektrik maliyeti azalmaktadır. Çalışmada ZnO katalizörü hem daha ekonomik hem de yüksek arıtım performans sergilediğinden çalışma maliyeti azalmıştır.

Tablo 7. 1 g KOİ giderimi için toplam kimyasal ve elektrik tüketim maliyetleri

| Deney No | TiO ₂ miktarı (g) | ZnO miktarı (g) | H ₂ O ₂ miktarı (L) | TiO ₂ maliyeti (TL) | ZnO maliyeti (TL) | H ₂ O ₂ maliyeti (TL) | Toplam kimyasal maliyeti (TL) | Toplam elektrik tüketim maliyeti (TL/g) |
|----------|------------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| 1 | 0,5 | - | - | 15,15 | - | - | 15,150 | 48,774 |
| 2 | 0,5 | - | 0,00039 | 15,15 | - | 0,147 | 15,297 | 54,270 |
| 3 | - | 0,5 | 0,00078 | - | 1,02 | 0,295 | 1,315 | 32,325 |
| 4 | - | 0,5 | 0,00156 | - | 1,02 | 0,590 | 1,610 | 74,965 |
| 5 | - | 1 | 0,00039 | - | 2,04 | 0,147 | 2,187 | 105,857 |
| 8 | 1 | - | 0,00078 | 30,3 | - | 0,295 | 30,595 | 37,409 |
| 9 | - | 2 | 0,00078 | - | 4,08 | 0,295 | 4,375 | 44,804 |

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada ilk kez ham hindi kesimhanesi atık suyu ileri oksidasyon proseslerinden biri olan fotokataliz metoduyla arıtılmıştır. Bu çalışmaya ait aşağıdaki önemli sonuçlar elde edilmiştir:

1. Fotokataliz prosesiyle 45 dakika çalışma periyodu sonucunda maksimum KOİ giderim veriminin gerçekleştiği optimum arıtım koşulları, 0,5 g/L ZnO fotokatalizörü, 10 mmol/L H₂O₂, UVA ışınması altında ve pH 2’de gerçekleşmiştir.

2. Ham hindi kesimhanesi atık sularının arıtılması için fotokataliz prosesi ilk etapta kirletici giderimini %50’den daha yüksek miktarda arıtım performansı gösterdiğinden dolayı kanalizasyon sistemine direkt deşarjda oluşabilecek organik kirletici yükünü azaltacaktır. Ayrıca heterojen fotokataliz prosesinin, endüstriyel tesisin gerçek zamanlı atık sularının hızlı, ekonomik olarak arıtılmasında ön arıtım ve/veya üçüncül arıtım teknolojisi olarak kullanılabilirliği bu çalışmayla kanatlı endüstrisi yöneticilerine yol gösterebilmektedir.

3. Fotokataliz prosesinde çalışma maliyetinin en büyük bölümünü elektrik enerjisi maliyeti oluşturup bunun azaltılması için güneş ışınmasının kullanılması pilot ölçekli bir sonraki çalışma için planlanmaktadır.

Teşekkür

“Hibrit ultrases ve ileri oksidasyon prosesleri kullanılarak kanatlı endüstrisi atıksularının arıtılması” isimli “2021.09.02.1498” numaralı proje Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

İlk yazar “başlıca yazar” olarak çalışmanın tasarım ve konsepti, verilerin elde edilmesi, analizi, yorumlanması ve makalenin hazırlanmasında katkıda bulunurken, ikinci yazar çalışmada numunelerin alınması, deneylerin yapılması, verilerin elde edilmesi ve analizinde katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Abdelhay A., Othman AA., Absoul A. Treatment of slaughterhouse wastewater using high-frequency ultrasound: optimization of operating conditions by RSM. *Environmental Technology* 2020; 42(26): 4170-4178.
- Adar E. The removal of Astrazon Black MBL with an innovative adsorbent: Optimization of operating parameters with Taguchi method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 2021; 27(6): 729-736.
- APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), Washington, DC, USA, 2005.
- Asha RC., Vishnuganth MA., Remya N., Selvaraju N., Kumar M. Livestock wastewater treatment in batch and continuous photocatalytic systems: performance and economic analyses. *Water, Air, & Soil Pollution* 2015; 226: 132.
- Ayare SD., Gogate PR. Sonophotocatalytic oxidation based treatment of phthalocyanine pigment containing industrial wastewater intensified using oxidising agents. *Separation and Purification Technology* 2020; 233: 115979.
- Azrina Yaakob M., Maya Saphira Radin Mohamed R., Al-Gheethi A., Tun Hussein Onn Malaysia U., Shiun Lim J., Shin Ho W., Kleme's JJ., Ali Saeed Al- Gheethi A., Hashim Mohd Kassim A. Characteristics of chicken slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Transactions* 2018; 63: 637-642.
- Bakar JA., Mohamed RMSR., Baker MBR., Al-Gheethi AAS., Fitriani N. Small-scale chicken slaughterhouse industries: Production and its effluent quality characteristics. *Pollution Research* 2019; 38: S43-S48.
- Baker BR., Mohamed R., Al-Gheethi A., Aziz HA. Advanced technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A systematic review. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2020; 42(6): 880-899.

- Başbuğ Çancı M., Kılıç M. Treatment of Rose Processing Wastewater by Sunlight/TiO₂ Photocatalysis Process. *Bilge International Journal of Science and Technology Research* 2020; 4(1): 1-6.
- Basitere M., Williams Y., Sheldon S., Ntwampe, SKO., De Jage D., Dlangamandla, C. Performance of an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor coupled with anoxic and aerobic bioreactors for treating poultry slaughterhouse wastewater. *Water Practice and Technology* 2016; 11(1): 86-92.
- Bazrafshan E., Mostafapour FK., Soori MM., Mahvi AH. Application of combined chemical coagulation and electrocoagulation process to carwash wastewater treatment. *Fresenius Environmental Bulletin* 2012; 21(9a): 2694–2701.
- Bhatia V., Dhir A., Ray AK. Photocatalytic degradation of atenolol with graphene oxide/zinc oxide composite: Optimization of process parameters using statistical method. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry* 2021;409: 113136.
- Bozkurt Çırak B., Çağlar B., Kılınç T., Morkoç Karadeniz S., Erdoğan Y., Kılıç S., Kahveci E., Ekinci AE., Çırak Ç. Synthesis and characterization of ZnO nanorice decorated TiO₂ nanotubes for enhanced photocatalytic activity. *Materials Research Bulletin* 2019; 109:160–167
- Bukhari K., Ahmad N., Sheikh IA., Akram TM. Effects of different parameters on photocatalytic oxidation of slaughterhouse wastewater using TiO₂ and Silver-doped TiO₂ nanoparticles. *Polish Journal of Environmental Studies* 2019; 28(3): 1591-1600.
- Bustillo-Lecompte CF., Ghafoori S., Mehrvar M. Photochemical degradation of an actual slaughterhouse wastewater by continuous UV/H₂O₂ photoreactor with recycle. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2016; 4:719–732.
- Chong MN., Jin B., Chow CWK., Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water Research*, 2010; 44:2997-3027.
- Cui H., Yu J., Zhu X., Cui Y., Ji C., Zhang C., Xue J., Jia X., Qin S., Li R. Advanced treatment of chicken farm flushing wastewater by integrating Fenton oxidation and algal cultivation process for algal growth and nutrients removal. *Journal of Environmental Management* 2021; 298: 113543.
- Daneshvar N., Khataee AR., Rasoulifard MH., Pourhassan M. Biodegradation of dye solution containing Malachite Green: Optimization of effective parameters using Taguchi method. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 143(1-2): 214-219.
- Doğdu Okçu G., Ökten H.E., Yalçuk A. Fotobiyokataliz yöntemi kullanılarak pestisit giderimi-derleme çalışması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 8(2): 675-688.
- Doğdu Okçu G., Ökten HA., Yalcuk A. Heterogeneous photocatalytic degradation and mineralization of 2,4-dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D): its performance, kinetics, and economic analysis. *Desalination and Water Treatment* 2019; 137: 312-327.

- Doğdu Okçu G., Tunacan T., Dikmen E. Photocatalytic degradation of yellow 2G dye using titanium dioxide/ultraviolet A light through a Box–Behnken experimental design: Optimization and kinetic study. *Journal of Environmental Science and Health A* 2019; 54: 136-145.
- Domingues FS., Geraldino HCL., de Souza Freitas TKF., de Almeida CA., de Figueiredo FF., Garcia, JC. Photocatalytic degradation of real textile wastewater using carbon black-Nb₂O₅ composite catalyst under UV/Vis irradiation. *Environmental Technology* 2021; 42(15): 2335–2349.
- Emamjomeh MM., Sivakumar M. Review of pollutants removed by electro- coagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management* 2009; 90: 1663–1679.
- Eryuruk K., Tezcan Un U., Bakır Oğutveren U. Electrochemical treatment of wastewaters from poultry slaughtering and processing by using iron electrodes. *Journal of Cleaner Production* 2018; 172: 1089–1095.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Water for Sustainable Food and Agriculture A report produced for the G20 Presidency of Germany, 2017. Erişim adresi: <http://www.fao.org/3/a-i7959e.pdf>, (Erişim tarihi: 14 Kasım 2020).
- Fernandes A., Makoş P., Wang Z., Boczka G. Synergistic effect of TiO₂ photocatalytic advanced oxidation processes in the treatment of refinery effluents. *Chemical Engineering Journal* 2020; 391: 123488.
- Ferreira LC., Fernandes JR., Rodríguez-Chueca J., Peres JA., Lucas MS., Tavares PB. Photocatalytic degradation of an agro-industrial wastewater model compound using a UV LEDs system: kinetic study. *Journal of Environmental Management* 2020; 269: 110740,
- Garcia BB., Lourinho G., Romano P., Brito PSD. Photocatalytic degradation of swine wastewater on aqueous TiO₂ suspensions: optimization and modeling via Box-Behnken design. *Heliyon* 2020; 6: 03293.
- Ghaly MY., Jamil TS., El-Seesy IE., Souaya ER., Nasr RA. Treatment of highly polluted paper mill wastewater by solar photocatalytic oxidation with synthesized nano TiO₂. *Chemical Engineering Journal* 2011; 168:446–454.
- Hilares RT., Atoche-Garay, DF., Pagaza, DAP., Ahmed MA., Andrade, GJC., Santos JC. Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2021; 9: 105174.
- Konstantinou IK., Albanis TA. TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations a review. *Applied Catalysis B: Environmental* 2004; 49(1): 1–14.

- Naresh Yadav D., Anand Kishore K., Saroj D. A Study on removal of Methylene Blue dye by photocatalysis integrated with nanofiltration using statistical and experimental approaches. *Environmental Technology* 2021; 42(19): 2968-2981.
- Njoya M., Basitere M., Ntwampe SKO. Analysis of the characteristics of poultry slaughterhouse wastewater (PSW) and its treatability. *Water Practice & Technology* 2019; 14(4): 959-970.
- Özkal CB., Pagano SM. Antibiyotik ve antibiyotiklere dirençli bakterilerin fotokataliz prosesi ile gideriminin değerlendirilmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2016; 5(1): 1-18.
- Pouloupoulos SG., Ulykbanova G., Philippopoulos CJ. Photochemical mineralization of amoxicillin medicinal product by means of UV, hydrogen peroxide, titanium dioxide and iron. *Environmental Technology* 2021; 42:2941-2949.
- Prieto O., Feroso J., Nuñez y., del Valle JL., Irusta R. Decolouration of textile dyes in wastewaters by photocatalysis with TiO₂. *Solar Energy* 2005; 79(4): 376-383.
- Raj CB., Quen CHL. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: optimization of UV/H₂O₂ process through a statistical technique. *Chemical Engineering Science* 2005; 60(19): 5305–5311.
- Raju AC., Chandra BS., Shukla A., Reja VK., Anish K., Neelancherry, R. Photocatalytic Treatment of Poultry Wastewater by Hectorite- TiO₂ aqueous suspensions. Conference: International Conference on Chemical and Environmental Research (ICER), JMC College Trichy, Tamilnadu India, 2014.
- Ross PJ. Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill, New York, NY; 1988.
- Saikia L., Bhuyan D., Saikia M., Malakar B., Dutta DK., Sengupta P. Photocatalytic performance of ZnO nanomaterials for self sensitized degradation of malachite green dye under solar light. *Applied Catalysis A: General* 2015; 490:42–49.
- Samsudin MFR., Jayabalan PJ., Ong WJ., Ng YH., Sufian S. Photocatalytic degradation of real industrial poultry wastewater via platinum decorated BiVO₄/g-C₃N₄ photocatalyst under solar light irradiation. *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry* 2019; 378: 46–56.
- Soltani DC., Jorfi R., Safari S., Rajaei M., Sadeh M. Enhanced sonocatalysis of textile wastewater using bentonite- supported ZnO nanoparticles: Response surface methodological approach. *Journal of Environmental Management* 2016; 179:47-57.
- Talebian N., Nilforoushan MR., Mogaddas FJ. Comparative study on the sonophotocatalytic degradation of hazardous waste. *Ceramics International* 2013; 39: 4913–4921.
- Talinli I., Anderson GK. Interference of hydrogen peroxide on the standard cod test. *Water Research* 1992; 26: 107–110.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020. Tarım Ürünleri Piyasaları. Tavuk Eti. (Erişim tarihi: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Menu/27/Tarim-Urunleri-Piyasalari>), (Erişim Tarihi: 20 Şubat 2020).

- TEDAŞ. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. <https://birimfiyat.tedas.gov.tr/2021>.
- Thind P., Kumari D., John S. TiO₂ /H₂O₂ mediated UV photocatalysis of chlorpyrifos: optimization of process parameters using response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2018; 6(3): 3602-3609.
- Thirugnanasambandham K., Sivakumar V., Maran JP. Efficiency of electrocoagulation method to treat chicken processing industry wastewater—modeling and optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2014; 45: 2427–2435.
- Tien, NTC., Huyen TTB., Hien LPT., Huy NN. A study on the optimization of photocatalytic removal of enrofloxacin using TiO₂ material. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2021; 652:012010.
- TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). www.tuik.gov.tr
- UN General Assembly, 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1, (Erişim adresi: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>), (Erişim tarihi: 5 Ocak 2022).
- USEPA (Environmental Protection Agency). Nutrient control design manual: state of technology review report. 2009. EPA/600/R-09/012. Water Supply and Water Resources Division, Cincinnati, 2009; Ohio. January.
- Vela N., Calín M., Yáñez-Gascón MJ., el Aatik A., Garrido I., Pérez-Lucas G., Fenoll J., Navarro S. Removal of pesticides with endocrine disruptor activity in wastewater effluent by solar heterogeneous photocatalysis using ZnO/Na₂S₂O₈. *Water, Air, & Soil Pollution* 2019; 230: 134.
- Verma A., Chhikara I., Dixit D. Photocatalytic treatment of pharmaceutical industry wastewater over TiO₂ using immersion well reactor: synergistic effect coupling with ultrasound. *Desalination and Water Treatment* 2014; 52: 6591–6597.
- Weerasekara AW., Jenkins S., Abbott LK., Waite I., McGrath JW., Larma I., Eroglu E., O'Donnell A., Whiteley AS. Microbial phylogenetic and functional responses within acidified wastewater communities exhibiting enhanced phosphate uptake. *Bioresource Technology* 2016; 220: 55–61.
- WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard, 2022, (Erişim adresi: <https://covid19.who.int/>), (Erişim tarihi: 7 Ocak 2022).
- Yan Z., Huang W., Jiang X., Gao J., Hu Y., Zhang H., Shi Q. Hollow structured black TiO₂ with thickness-controllable microporous shells for enhanced visible-light-driven photocatalysis. *Microporous and Mesoporous Materials* 2021; 323: 111228.
- Yazıcı Güvenç S., Varank G. Kozmetik sanayi atıksularının elektro-fenton yöntemi ile arıtımında cevap yüzey metodu kullanılarak proses optimizasyonu. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture* 2019; 34(1): 57-66.

Zhang S., Pang X., Yue Z., Zhou Y., Duan H., Shen W., Li J., Liu Y., Cheng Q. Sulfonamides removed from simulated livestock and poultry breeding wastewater using an in-situ electro-Fenton process powered by photovoltaic energy. *Chemical Engineering Journal* 2020; 397: 125466.

Some Biochemical Parameters of Eggplant Species from Turkey and Nigeria

Zulaiha Gidado MUKHTAR¹, Dursun ÖZER², Fikret KARATAŞ^{3*}, Sinan SAYDAM⁴

^{1,3,4} Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 23200, Elazığ

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 23200 Elazığ

¹ <http://orcid.org/0000-0002-0726-7299>

² <http://orcid.org/0000-0002-7225-8903>

³ <http://orcid.org/0000-0002-0884-027X>

⁴ <http://orcid.org/0000-0003-1531-5454>

*Corresponding author: fkaratas@firat.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 24.01.2022

Accepted: 16.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Antioxidant capacity

Eggplant

Glutathione

Phenolic substance

Vitamins

In this study, the amounts of vitamins, beta-carotene, lycopene, glutathione (GSH, GSSG), malondialdehyde (MDA), and hydroxynoneal (4-HNE) in eggplant samples grown in Turkey (dark and light colored eggplant) and Nigeria (white garden egg, bitter apple and bitter tomato) were determined by HPLC. In addition, the total amount of phenolic, and flavonoid substances and antioxidant capacity (ABTS, IC₅₀) were determined by a UV-Visible spectrophotometer. The amounts of vitamins A, E, β-carotene and lycopene were found to be in the ranged of 0.13 -3.63; 3.63-39.0; 1.87-30.5; 1.52-6.79 µg/g dw, respectively. The amounts of vitamin C, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉ and B₁₂ ranged 357-1136; 11.0-95.6; 1.9-5.4; 83-265; 30.16-65.43; 127-348; 24.74-78.6; 0.11-0.68 µg/g dw, respectively. GSH, GSSG, MDA and 4-HNE were found to be in between 364-1930; 225-962; 1.5-8.4; 24.57-38.25 µg/g dw, respectively. While the total phenolic substance was between 706-1260 µg GAE/g dw, the total amount of flavonoid substance was found to be in between 167-356 µg QE/g dw. ABTS values ranged between 365-692 µmol Trolox/g dw, while IC₅₀ values were in 65.1-99.3 µg/mL. It can be said that the differences observed in the parameters observed in eggplant varieties grown both in Turkey and Nigeria are due to genetic and geographical differences.

Türkiye ve Nijerya'dan Patlıcan Türlerinde Bazı Biyokimyasal Parametre İçeriklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 24.01.2022

Kabul tarihi: 16.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Antioksidan kapasite

Fenolik madde

Glutatyon

Patlıcan

Vitaminler

Bu çalışmada, Türkiye (koyu ve açık renkli patlıcan) ve Nijerya'da (white garden egg, bitter apple ve bitter tomato) yetişen patlıcan örneklerinin likopen, beta karoten, vitaminler, glutatyon (GSH, GSSG) malondialdehit (MDA), 4-OH neoneal (HNE) içerikleri HPLC ile belirlenmiştir. Ayrıca toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları ve antioksidan kapasitenin (ABTS, IC₅₀) belirlenmesinde ise spektrofotometre kullanılmıştır. Vitamin A, E, β-karoten ve likopen miktarları sırasıyla 0,13-3,63; 3,63-39,0; 1,87-30,5; 1,52-6,79 µg/g dw arasında değişmektedir. Aynı şekilde C, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉ ve B₁₂ vitamin miktarları ise sırasıyla 357-1136; 11,0-95,6; 1,9-5,4; 83-265; 30,16-65,43; 127-348; 24,74-78,6; 0,11-0,68 µg/g dw arasında değişmektedir. GSH, GSSG, MDA ve 4-HNE miktarları ise sırasıyla 364-1930; 225-962; 1,5-8,4; 24,57-38,25 µg/g dw arasında bulunmuştur. Total fenolik madde 706-1260 µg GAE/g dw arasında iken, toplam flavonoid madde miktarı 167-356 µg QE/g dw arasında bulunmuştur. ABTS değerleri 365-692 µmol Trolox/g dw arasında değişirken, IC₅₀ değerleri 65,1-99,3 µg/mL arasında bulunmuştur. Hem Türkiye'de hem de Nijerya'da yetiştirilen patlıcan türlerinde yapılan

Introduction

The *Solanum* species comprises some of the world's most economically valuable vegetables/fruits such as tomato, potatoes, pepper, and eggplant. Eggplant is one of the most phenotypically diverse fruits in the world, with a variety of colors, shapes and sizes with important nutritional, economic and ecological functions. Various cultures use eggplants for the traditional treatment of a wide variety of ailments, from diabetes to chest infections, and allergies (Okmen et al., 2009). Eggplant has smooth skin with different colour tones. Its fruit has a spongy texture and can be eaten fresh or cooked. Its fruits are used to flavour and enrich soups and stews (Meyer et al., 2012). Eggplant (*Solanum melongena* L.), also known as melanzana, garden egg and brinjal in different parts of the world, is an important market vegetable in Asian and Mediterranean countries. Whereas eggplant is widely sold and consumed in global markets, it is still a relatively wild and underutilized fruit in parts of Africa and Asia (Wu et al., 2007). An extensive study of traditional medicinal uses of different varieties of eggplant reported to include topical use to treat haemorrhoids, reduce swelling, as an antipyretic, as an emetic, laxative, aphrodisiac, hypoglycemic, for toothache, relieve cough, stop bleeding, weight loss, appetite stimulant, for heartburn, hyperacidity, diuretic, induce sleep, skin compress for swelling, uterus stabilizer after a miscarriage, and to treat cancer, particularly skin cancer (Meyer et al., 2012).

There is fragmented literature on the nutritional composition of a large percentage of eggplant varieties, especially wild species. Eggplants are reported to be rich in fiber, vitamins, minerals and secondary metabolites (Gürbüz et al., 2018). Vitamins are organic molecules that have a variety of biochemical functions and are needed in small quantities for the proper functioning of metabolism. Deficiency or excess of vitamins can cause clinically important diseases as well (Awuchi et al., 2020).

Glutathione, a tripeptide, is an important antioxidant for all living things, protecting cells against oxidative damage and scavenging reactive oxygen species. Available in reduced (GSH) and oxidized (GSSG) forms. The oxidized form of glutathione is an indicator of oxidative stress (Cnubben et al., 2001).

Oxidative stress caused by the environmental factors in biological systems causes an increase in lipid peroxidation and causes to decrease in the antioxidant defense system (Jemai et al., 2007). Malondialdehyde (MDA) and 4-hydroxyneoneal (4-HNE) levels formed as a result of lipid peroxidation also serve as good markers in determining cellular damage caused by reactive oxygen species depending on stress conditions (Gawel et al., 2004; Schaur et al., 2015).

Antioxidants are molecules that are generally produced from natural sources, contain phenolic groups and inhibit the free radical formation or neutralize them (Su et al., 2007). Phenolic compounds, which are found as secondary metabolites in plants, consist of various compounds such as complex flavonoids, simple flavonoids, phenolic acids and anthocyanins. In addition to causing the colouration of fruits and

vegetables, they play an important role in the activity of some enzymes (Babbar et al., 2012). These substances were found to have antioxidative, anti-inflammatory, anti-cancer and anti-mutagenic properties (Panche et al., 2016).

The aim of this study is to compare the results of eggplant samples from Elazig/Turkey and Kano/Nigeria by determining the amounts of vitamins, glutathione, MDA, 4-HNE, antioxidant capacity, total phenolic and flavonoids compounds.

Materials and Methods

Material

In this study, fresh eggplant fruits were purchased from local markets in Elazig City, Turkey, and Kano, Nigeria in October 2019. Five types of varieties of eggplant (Figure 1) were used, white garden egg, bitter apple, bitter tomato (Kano), dark eggplant and light eggplant (Elazig) throughout the experiment. Each sample was washed thoroughly and stored in the refrigerator at 4 °C until required for further use.



Figure 1. The eggplant species used for this study and their common names

2.2. Determination of vitamin A, E, β -Carotene, lycopene and 4-HNE

1.0 gram of homogenate was taken and analyses were carried out using an ODS-2 column in HPLC, according to the method used by Ibrahim et al., (2017).

Determination of B vitamins

1.0 grams of homogenized eggplant samples were taken and analyses were performed using a Supelcosil LC-18-DB column (150 mm x 4,6 mm ID, 5 μ m) in HPLC (Amidžić et al., 2005; Ibrahim et al., 2017).

Determination of Vitamin C, GSH, GSSG, MDA

Analyses of homogenized eggplant samples were performed by HPLC according to Ibrahim et al. (2017).

Determination of total phenolic, flavonoid substance and antioxidant capacity

Extraction

Eggplant samples were homogenized with a blender, and 25 g of homogenized sample was transferred into the paper thimble and extracted with CH₃OH in Soxhlet apparatus for 4 hours. The extracts were dried in rotary evaporator and dissolved in a 50 mL CH₃OH and the solution was stored in the freezer until analysis. The prepared extract was used to determine the total phenolic and flavonoid substances and antioxidant capacity. Determination of total phenolic and flavonoid substances were performed by UV-visible spectrophotometer described by Dewanto et al. (2002) and the results were given in as gallic acid equivalent (μ g GAE g⁻¹ dw) and quercetin equivalent (μ g QE g⁻¹ dw) respectively.

Total antioxidant capacity was determined according to two different methods, DPPH (Nile et al. (2013) and TEAC (Re et al. (1999)).

2.3. Statistical Analysis

All measurements were triplicated and Mean \pm Standard deviation was determined. The results were subjected to Variance Analysis by SPSS 10,0 for Windows. Differences between the group's means were analysed for significance using Tukey test. The level of statistical significance was expressed as $p < 0,05$. Insignificant changes were indicated as $p > 0,05$ and given in Table 1.

White garden egg samples are compared with other eggplant types, the significant difference is shown with the symbol **a**, and the insignificant difference is shown with the symbol **b**. When compared to other types of bitter apples the significant difference is indicated by the **c** symbol and the insignificant difference is indicated by the **d** symbol. When comparing the bitter tomato example with other species, the significant difference is indicated by the symbol **e**, and the insignificant difference is indicated by the symbol **f**. Compared to the dark eggplant and light eggplant example, the significant difference is indicated by the symbol **g** and the insignificant difference by the symbol **h**.

Result and Discussion

The amounts of fat and water-soluble vitamins, GSH, GSSG, MDA, and 4-HNE, total phenolic and flavonoid substance, antioxidant capacity in five different eggplant fruits were measured and the results are given in Table 1 and Figure 2-7.

Table 1. Amounts of some biochemical parameters in the five different varieties of eggplant fruits.

| Species | White Garden Egg | Bitter Apple | Bitter Tomato | Dark Eggplant | Light Eggplant |
|-------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Vitamin A | 2.33 ±0.03 | 3.63±0.10 ^a | 2.65±0.15 ^{a c} | 0.63±0.04 ^{a c e} | 0.13±0.01 ^{a c e g} |
| Vitamin E | 11.0±0.30 | 3.63±0.10 ^a | 35.0±1.50 ^{a c} | 39.0±1.6 ^{a c e} | 4.8±0.2 ^{b c e g} |
| β-Carotene | 4.29±0.10 | 5.13±0.15 ^a | 21.4±1.3 ^{a c} | 30.5±1.6 ^{a c e} | 1.87±0.05 ^{a c e g} |
| Lycopene | 6.79±0.24 | 4.33±0.20 ^a | 3.2±0.26 ^{a c} | 1.78±0.08 ^{a c e} | 1.52±0.03 ^{a c e g} |
| Vitamin C | 1136.0±24.0 | 579.0±11.0 ^a | 357±7.5 ^{a c} | 476±8.60 ^{a c e} | 422.0±6.10 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₁ | 95.60±2.20 | 54.0±1.72 ^a | 46.0±1.54 ^{a c} | 11.0±0.50 ^{a c e} | 19.0±1.13 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₂ | 5.40±0.22 | 3.80±0.13 ^a | 1.9±0.09 ^{a c} | 4.74±0.24 ^{a c e} | 5.18±0.21 ^{b c e h} |
| Vitamin B ₃ | 265.0±6.45 | 96.20±2.70 ^a | 119±3.0 ^{a c} | 83±2.20 ^{a c e} | 104.0±2.80 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₅ | 30.16±1.60 | 36.40±1.70 ^a | 48.5±2.25 ^{a c} | 65.43±3.0 ^{a c e} | 58.0±2.10 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₆ | 348.0±9.10 | 226.0±4.90 ^a | 141.0±3.40 ^{a c} | 127±2.9 ^{a c e} | 202.0±3.9 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₉ | 55.87±3.49 | 26.86±1.51 ^a | 102±4.10 ^{a c} | 24.74±1.28 ^{a d e} | 78.6±3.0 ^{a c e g} |
| Vitamin B ₁₂ | 0.68±0.03 | 0.39±0.02 ^a | 0.38±0.02 ^{a d} | 0.11±0.01 ^{a c e} | 0.2±0.01 ^{a c e g} |
| GSH | 1930.0±86.0 | 1512.0±63.0 ^a | 364±14.0 ^{a c} | 408.0±15.8 ^{a c e} | 812.0±35.0 ^{a c e g} |
| GSSG | 962.0±27.0 | 666.0±15.0 ^a | 225.0±7.80 ^{a c} | 230.0±8.6 ^{a c f} | 418.0±12.0 ^{a c e g} |
| MDA | 8.40±0.33 | 3.62±0.24 ^a | 1.50±0.10 ^{a c} | 1.9±0.10 ^{a c e} | 3.16±0.15 ^{a c e g} |
| 4-HNE | 38.25±1.55 | 36.29±1.63 ^b | 24.57±1.38 ^{a c} | 31.81±1.43 ^{a c e} | 33.56±1.50 ^{a d e h} |
| T. Phenolic S. | 1260.0±25.0 | 869.0±12.0 ^a | 732.0±9.0 ^{a c} | 1121.0±21.0 ^{a c e} | 706.0±10.0 ^{a c e g} |
| T. Flavonoid S. | 356.0±9.0 | 167.0±5.0 ^a | 214.7±6.9 ^{a c} | 264.0±7.2 ^{a c e} | 192.0±5.4 ^{a c e g} |
| ABTS | 692.0±11.0 | 464.0±10.0 ^a | 365.0±9.0 ^{a c} | 610.0±14.0 ^{a c e} | 532.0±9.0 ^{a c e g} |
| IC ₅₀ | 65.1±3.0 | 86.9±4.0 ^a | 99.3±4.8 ^{a c} | 73.0±3.30 ^{a c e} | 80.8±3.8 ^{a d e g} |

Concentration of vitamins, β-Carotene, Lycopene, GSH, GSSG, MDA and 4-HNE given as (μg/g dw), Total phenolic substance (μg GAE/g dw), Total Flavonoid (μg QE/g dw), ABTS (μmol Trolox/g dw) IC₅₀ (μg/mL)

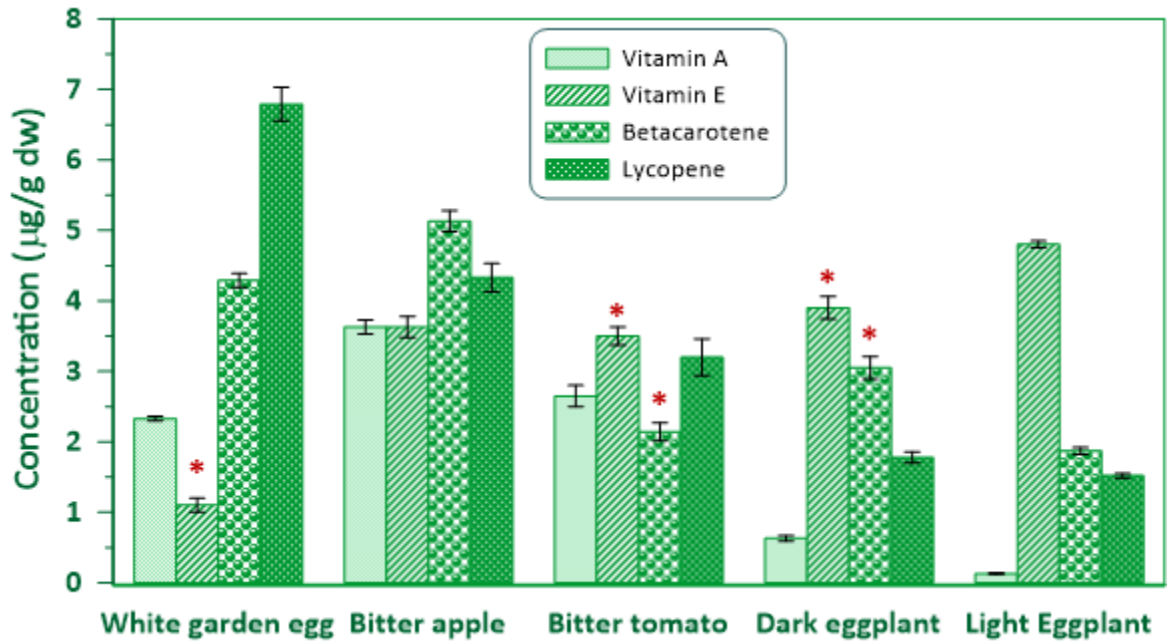


Figure 2. The amounts of fat-soluble vitamins, β -Carotene and Lycopene in eggplant samples. (* values divided by 10)

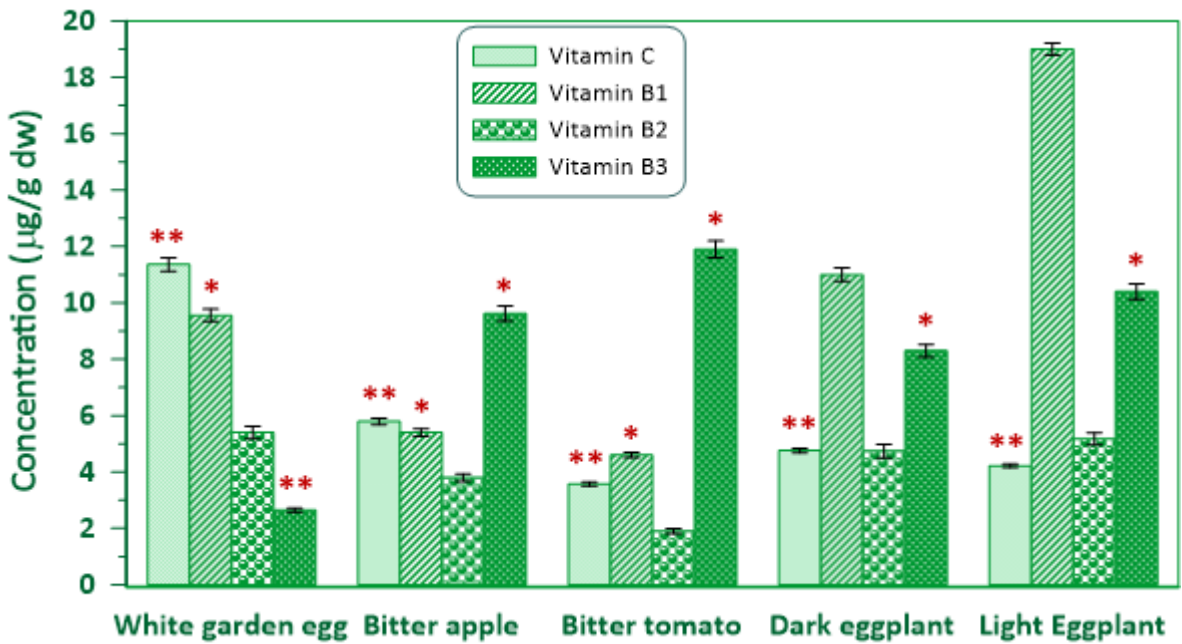


Figure 3. The amounts of vitamins C, B₁, B₂ and B₃ in eggplant samples. (* values divided by 10, ** values divided by 100)

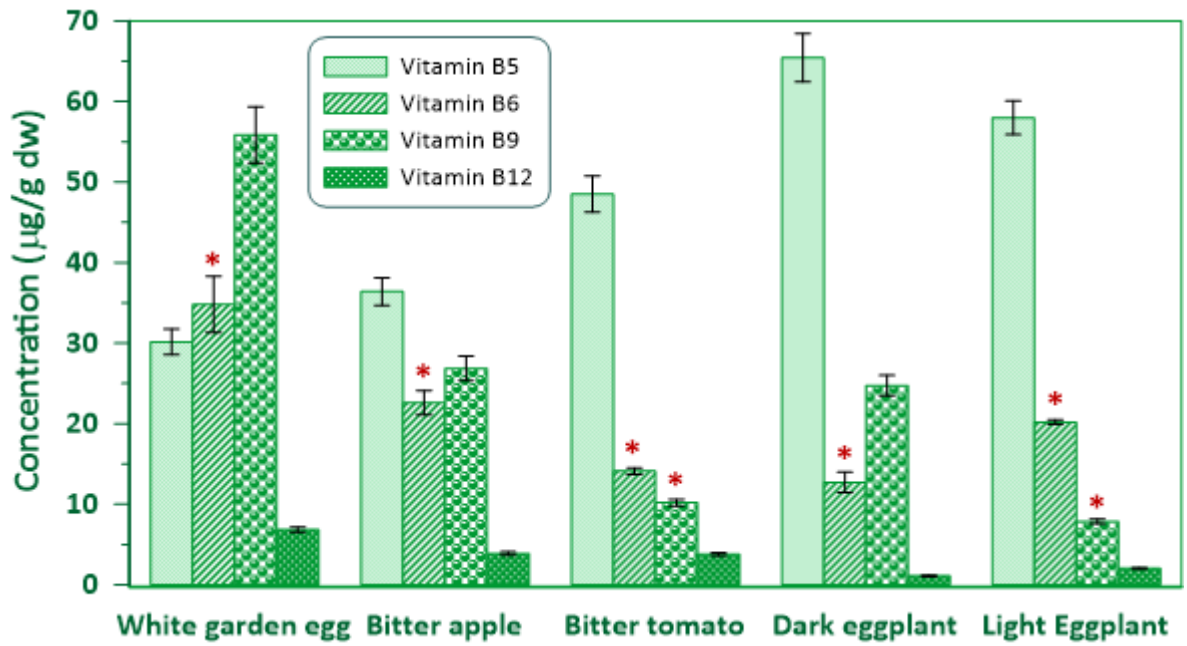


Figure 4. The amounts of vitamins B₅, B₆, B₉ and B₁₂ in eggplant samples. (x values multiplied by ten and * values divided by 10)

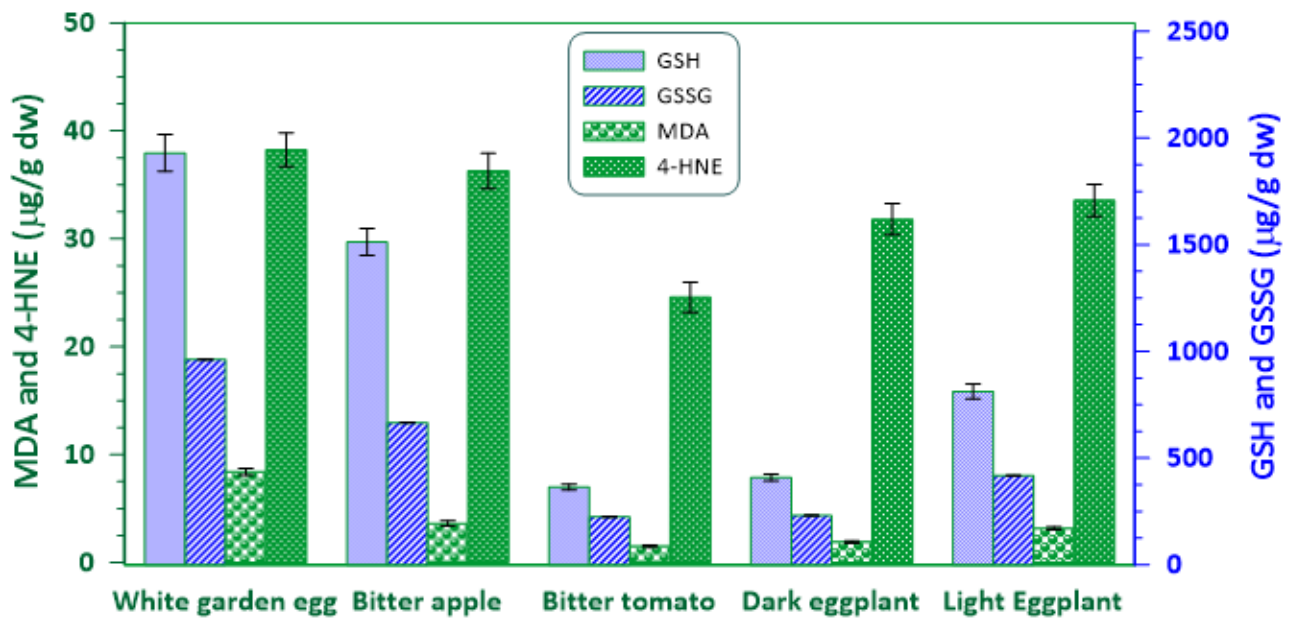


Figure 5. The amounts of vitamins GSH, GSSG, MDA and 4-HNE in eggplant samples.

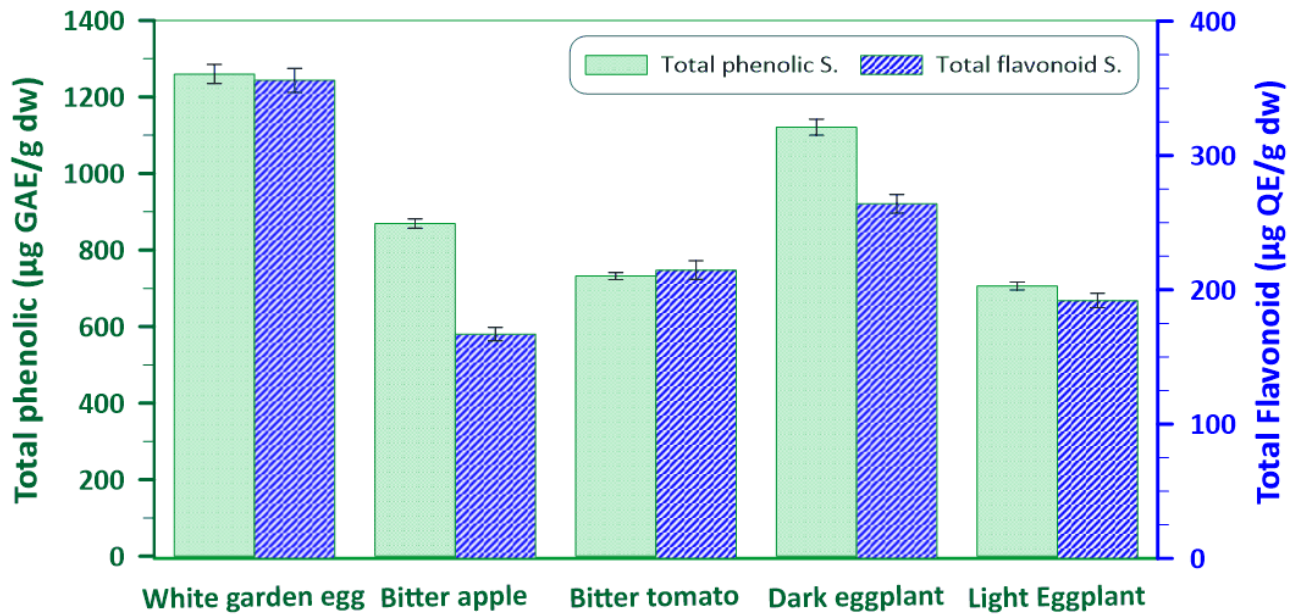


Figure 6. Total phenolic and flavonoid substance in eggplant samples.

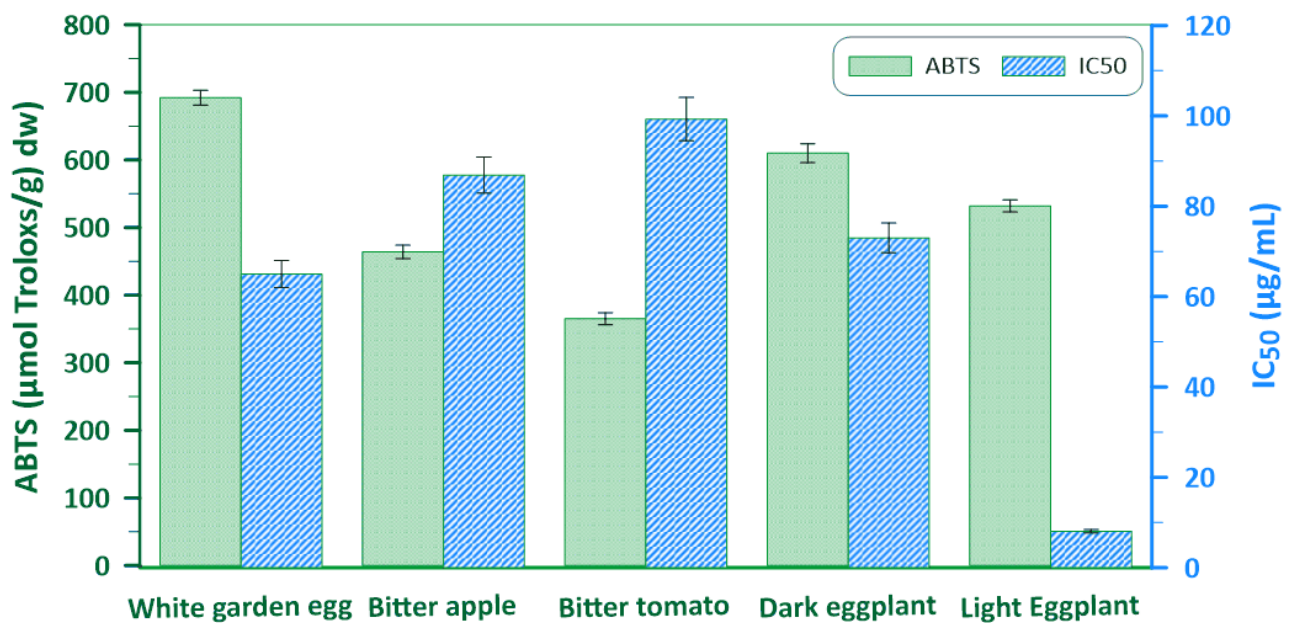


Figure 7. Antioxidant capacity values in eggplant samples.

Vitamins are distinctly different from other nutrients both in structure, dietary requirement and metabolic roles. They are also distinct because they are not involved in structural formations and their breakdown does not generate significant amounts of energy to be used by the cell. Rather, they have specific metabolic and physiological roles that aid the metabolism of other nutrients and are required in trace amounts. Most vitamins exist in foods as a pro-vitamin that is an inactive form that necessitates metabolic activation to perform their functions (Gerald et al., 2017).

While the highest amounts of fat-soluble vitamins A, E, β -carotene and lycopene were found in bitter apple, dark eggplant, dark eggplant and white garden egg, respectively. On the other hand the lowest amounts of vitamins A, E, β -carotene and lycopene were found in light eggplant, bitter

apple, light eggplant and light eggplant species, respectively (Table 1 and Figure 2). The amounts of vitamin A and lycopene in eggplant samples grown in Nigeria were found to be higher than in eggplant samples grown in Turkey.

It was reported by Horna et al. (2007) that the amount of vitamin A in eggplant samples was 0.7 µg/g, Fraikue et al. (2016) found the amount of vitamin E in eggplant samples were between 2-3 µg/g. Msogoya et al. (2014) reported that the amount of β-carotene in eggplant samples was between 7.09 and 8.14 µg/g. Arkoub-Djermoune et al. (2016) reported that the amount of lycopene in the eggplant sample was 128.4 ± 16.6 µg/g dw.

While the highest amount of vitamins C, B₁, B₂ and B₃ were observed in the white garden egg, the lowest amounts were observed in bitter tomato, dark eggplant, bitter tomato and dark eggplant samples, respectively. The vitamin B₁ content of eggplants grown in Nigeria was found to be higher than the eggplant samples grown in Turkey (Table 1 and Figure 3).

Niño-Medina et al. (2014) found that the amount of vitamin C in eggplant samples grown in different countries was in the range of 86 - 220 µg/g. Gürbüz et al. (2018) reported the amounts of vitamins C, B₁, B₂ and B₃ in the eggplant sample as 22; 0.39; 0.37 and 6.49 µg/g, respectively.

The highest amount of B₅, B₆, B₉ and B₁₂ vitamins was observed in dark eggplant, white garden egg, bitter tomato and white garden egg eggplant samples, respectively. The lowest vitamins (B₅, B₆, B₉ and B₁₂) were observed in white garden egg and dark eggplant species. While vitamin B₅ was higher in samples grown in Turkey, on the other hand, B₁₂ was found to be higher in samples grown in Nigeria. (Table 1 and Figure 4).

Sharma and Kaushik (2021) reported the amount of vitamins B₅, B₆ and B₉ in the eggplant sample to be 2.81; 1.0 and 220 µg/g, respectively. Imo et al. (2019) reported that the amount of vitamin B₁₂ in the eggplant sample was 3.65 µg/g.

Glutathione is a common antioxidant that protects cells from oxidative stress and toxic compounds, thus essential for maintaining redox balance and overall homeostasis. It exists in reduced (GSH) and oxidized (GSSG) forms. A balance between these two forms where most of the glutathione is in the reduced form; is necessary to maintain physiological redox homeostasis (Masella et al., 2005).

The imbalance in the amount of pro-oxidant and antioxidant compounds in foods leads to both enzymatic and non-enzymatic oxidation of polyunsaturated fatty acids, resulting in the formation of peroxidation products such as MDA and 4-HNE, which are known as markers of oxidative stress (Niki, 2014).

While the highest amounts of GSH, GSSG, MDA and 4-HNE were found in the white garden egg sample, the lowest values were found in bitter tomato. The amount of GSH, GSSG, MDA and HNE in eggplant samples produced in Nigeria is higher than those grown in Turkey except for bitter tomato (Table 1 and Figure 5). This situation may be related to genetic structure and environmental factors.

Agoreyo et al. (2013) reported that the amount of glutathione in different eggplant samples was between 25 and 105 nmol/g fw. The amount of MDA in the fresh eggplant sample was reported as 38 pm/g (Das et al., 2011).

Phenolic compounds, commonly found in fruits, legumes, grains and vegetables, have effective antioxidant properties and protect plants against environmental factors such as UV radiation and parasites (Onyilagha and Grotewold, 2004).

Flavonoids are the substances that cause the colouring of fruits and involve the activity of some enzymes (Panche et al., 2016). The highest total phenolic and flavonoid substance content was found in the white garden egg, while the lowest total phenolic and flavonoid substance content was found in light eggplant and bitter apple, respectively (Table 1 and Figure 6). Hanson et al., (2006) investigated the total phenolic compound in the methanol extracts of 33 different eggplant cultivars sampled from diverse countries and found it to range from 74-1400 mg/100g dw.

The Total flavonoid compound in eggplants has been reported to range from 16.13-18.52 mg QE/100 g (161.30 – 180.52 µg QE/g) dw, by Boulekbache-Makhlouf et al. (2013). Antioxidants are biomolecules synthesized in the organism or taken into the diet and protect the cell by neutralizing the free radical species (Sharma et al., 2012).

Total antioxidant capacity is a measure of the cumulative activity of antioxidant capacity rather than the individual capacity of antioxidants based on an electron transfer reaction with a colored oxidant (Fraga et al., 2014). Trolox equivalent antioxidant capacity (ABTS or TEAC) and DPPH radical scavenging methods were applied to determine the total antioxidant capacity. IC₅₀ values were determined using the DPPH method and the Trolox equivalent was determined using the TEAC method.

The highest Trolox equivalent antioxidant capacity as an ABTS value was observed in white garden egg, while the lowest was observed in bitter tomato sample. Likewise, while the high IC₅₀ value was observed in the bitter tomato sample, the lowest value was observed in the white garden egg. The results of two different methods are compatible with each other. Low IC₅₀ value means it has the high antioxidant capacity (Table 1 and Figure 7).

As seen in Table 1 and Figure 6, 7, it can be concluded that the samples with higher total phenolic and flavonoid substance content have higher antioxidant capacity.

The recommended daily nutrient intake (RDA) is the amount that will meet the nutritional needs of almost all healthy people of a certain age and gender. RDA values vary for different countries due to dietary habits, climate and other regional factors.

As it can be seen in Table 2, the percentage of RDAs met by people consuming 100 g dw/day of eggplant is given, taking into account the RDA values of vitamins.

It can be seen from Table 2 that the highest RDA values of lycopene, vitamins C, B₁, B₂, B₃, B₆, B₉ and B₁₂ are in the white garden egg sample. The statistical comparison of the parameters examined

in the eggplant samples grown in Turkey and Nigeria are shown in Table 1 with the letters specified in the statistical analysis section.

Table 2. Shows the percentage of RDA (WHO, 2004) in $\mu\text{g}/100\text{ g dw}$ of each of the varieties of eggplant fruits.

| Vitamin | RDA (mg/day) | White garden egg | Bitter apple | Bitter tomato | Dark eggplant | Light eggplant |
|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Vitamin A | 0.8 | 29 | 45 | 33 | 7.9 | 1.7 |
| Vitamin E | 15 | 7.3 | 2.4 | 23 | 26 | 3 |
| Lycopene | 8 | 8.5 | 5.4 | 4 | 2.2 | 2 |
| Vitamin C | 46 | 246 | 129 | 79 | 106 | 94 |
| Vitamin B ₁ | 0.9 | 1062 | 598 | 506 | 123 | 212 |
| Vitamin B ₂ | 1 | 54 | 38 | 19 | 47 | 52 |
| Vitamin B ₃ | 15 | 176 | 64 | 79.4 | 56 | 69 |
| Vitamin B ₅ | 4 | 75 | 91 | 121 | 163 | 145 |
| Vitamin B ₆ | 1.4 | 2485 | 1614 | 1007 | 907 | 1442 |
| Vitamin B ₉ | 0.5 | 1117 | 537 | 2040 | 495 | 1572 |
| Vitamin B ₁₂ | 0.2 | 34 | 19 | 19 | 5.5 | 10 |

Conclusion

Dark eggplant is richer in vitamins E and B₅ and beta-carotene compared to other species. white garden egg is richer than the others in terms of lycopene, vitamins C, B₁, B₂, B₃, B₆ and B₁₂, GSH, GSSG, total phenolic total flavonoid and antioxidant capacity. Vitamin B₉ in the bitter tomato is higher than in other types. As the total amount of phenolic and flavonoid substances increases, the total antioxidant capacity value increases. MDA and 4-HNE, formed as a result of lipid peroxidation and accepted as stress markers, were found to be higher in white garden egg types. These differences in vitamin A, E, beta-carotene, lycopene, C, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉ and B₁₂ vitamins, GSH, GSSG, MDA, 4-HNE, total phenolic, flavonoid and antioxidant capacity of eggplant fruits, maybe due to genetic and geographical differences

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal

References

Agoreyo BO., Okhihie O., Agoreyo FO. Carotenoids, glutathione and vitamin E contents of eggplants (*Solanum* spp.) during ripening. Nigerian Journal of Pharmaceutical and Applied Science Research 2013; 2 (1): 41-48

- Amidžić R., Brborić J., Čudina O., Vladimirov S. Rp-HPLC determination of vitamins, folic acid and B₁₂ in multivitamin tablets. *Journal of the Serbian Chemical Society* 2005; 70: 1229-1235.
- Arkoub-Djermoune L., Boulekbache-Makhlouf L., Zeghichi-Hamri S., Bellili S., Boukhalifa F., Madani K. Influence of the thermal processing on the physico-chemical properties and the antioxidant activity of a solanaceae vegetable: eggplant. *Journal of Food Quality* 2016; 39: 181-191.
- Awuchi CG., Igwe VS., Amagwula IO., Echeta CK. Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: a systematic review. *International Journal of Food Science* 2020; 3(1): 1-32
- Babbar N., Oberoi HS., Sandhu SK., Bhargav VK. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. *Journal of Food Science and Technology* 2012; 51(10): 2568-2575.
- Boulekbache-Makhlouf L., Medouni L., Medouni-Adrar S., Arkoub L., Madani K. Effect of solvents extraction on phenolic content and antioxidant activity of the byproduct of eggplant. *Industrial Crops and Products* 2013; 49: 668-674.
- Cnubben NHP., Rietjens IMCM., Wortelboer H., Van Zanden J., Van Bladeren PJ. The interplay of glutathione-related processes in antioxidant defense. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 2001; 10: 141-152.
- Das S., Raychaudhuri U., Falchi M., Bertellic A., Braga PC., Das DK. Cardioprotective properties of raw and cooked eggplant (*Solanum melongena* L). *Food & Function Journal* 2011; 2: 395-399
- Dewanto V., Wu X., Adom KK., Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002;50: 3010-3014.
- Fraga CG., Oteiza PI., Galleano M. In vitro measurements and interpretation of total antioxidant capacity. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 2014; 1840(2): 931-934.
- Fraikue FB. Unveiling the potential utility of eggplant: a review. *Conference Proceedings of INCEDI* 2016; 883-895
- Gawel S., Wardas M., Niedworok E., Wardas P. Malondialdehyde as lipid peroxidation marker. *Wiadomosci Lekarskie (Warsaw, Poland :1960)* 2004; 57(9-10): 453-455.
- Combs Jr GF., McClung JP. Perspectives on the vitamins in nutrition in: the vitamins: fundamental aspects in nutrition and health. Fifth edition. Academic Press; 2017: 3-5.
- Gürbüz N., Uluişik S., Frary A., Frary A., Doğanlar S. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry* 2018; 268: 602-610.
- Hanson PM., Yang RY., Tsou SC., Ledesma D., Engle L., Lee TC. Diversity in eggplant (*Solanum melongena*) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *Journal of Food composition and Analysis*. 2006; 19(6-7): 594-600.

- Horna D., Timpo S., Gruère G. Marketing underutilized crops: the case of the African garden egg (*Solanum ethiopicum*) in Ghana. *Via dei Tre Denari*, 472/a, 00057 Maccarese, Rome, Italy. 2007.
- Ibrahim MS., Ibrahim YI., Mukhtar ZG., Karatas F. Amount of vitamin A, vitamin E, vitamin C, malondialdehyde, glutathione, ghrelin, beta-carotene, lycopene in fruits of Hawthorn, Midland (*Crataegus laevigata*). *Journal of Human Nutrition & Food Science* 2017; 5(3): 1112-1117.
- Imo C., Shaibu C., Yusuf KS. Nutritional composition of *Cucumis sativus* L. and *Solanum melongena* L. fruits. *AJOPRED* 2019; 11(2): 145-150.
- Jemai H., Messaoudi I., Chaouch A., Kerkeni A. Protective effect of zinc supplementation on blood antioxidant defense system in rats exposed to cadmium. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 2007; 21(4): 269–273.
- Masella R., Benedetto R., Vari R., Filesi C., Giovannini C. Novel mechanisms of natural antioxidant compounds in biological systems: involvement of glutathione and glutathione-related enzymes. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 2005; 16(10): 577-586.
- Meyer RS., Karol KG., Little DP., Nee MH., Litt A. Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular Phylogenetics And Evolution* 2012; 63(3): 685-701.
- Msoyoya TJ., Majubwa RO., Maerere AP. Effects of harvesting stages on yield and nutritional quality of African eggplant (*Solanum aethiopicum* L.) fruits. *Journal of Applied Biosciences* 2014; 78(1): 6590-6599.
- Niki E. Biomarkers of lipid peroxidation in clinical material. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 2014; 1840(2): 809-817.
- Nile SH., Kim SH., Ko EY., Park SW. Polyphenolic contents and antioxidant properties of different grape (*V. vinifera*, *V. labrusca*, and *V. hybrid*) cultivars. *Biomed Research International* 2013; Article ID 718065: 1-5.
- Niño-Medina G., Muy-Rangel D., Gardea-Béjar A., González-Aguilar G., Heredia B., Báez-Sañudo M., Siller-Cepeda J., De La Rocha RV. nutritional and nutraceutical components of commercial eggplant types grown in Sinaloa, Mexico. *Not Bot Horti Agrobi* 2014; 42(2): 538-544
- Okmen B., Sigva HO., Mutlu S., Doganlar S., Yemenicioglu A., Frary A. Total antioxidant activity and total phenolic contents in different Turkish eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties* 2009; 12(3): 616-624.
- Onyilagha JC., Grotewold E. The biology and structural distribution of surface flavonoids. *Recent research developments in plant science*. 2004 2: 53-71.
- Panche AN., Diwan AD., Chandra SR. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science* 2016; 5(47): 1-15.

- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine* 1999; 26: 1231–1237.
- Schaur RJ., Siems W., Bresgen N., Eckl PM. 4-Hydroxy-nonenal-a bioactive lipid peroxidation product. *Biomolecules* 2015; 5: 2247-2337.
- Sharma M., Kaushik P. Biochemical composition of eggplant fruits: a review. *Applied Sciences* 2021; 11(7078): 1-13.
- Sharma P., Jha AB., Dubey RS., Pessarakli M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany* 2012; 2012: 1-12
- Su L., Yin J., Charles D., Zhou K., Moore J., Yu L. Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry* 2007; 100: 990-997.
- World Health Organization. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. World Health Organization 2004.
- Wu L., Orikasa T., Ogawa Y., Tagawa A. Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering* 2007; 83: 422–429.

Bakır ve Pirinç Elektrot ile EDM Yönteminde Soğuk İş Takım Çeliği İşlemede MRR, EWR ve KERF Analizi

Ferhat CERİTBİNMEZ^{1*}, Elif Simay GÖKKAYA², Erdoğan KANCA³

¹Haier Europe, Candy - Hoover Group, Research and Development Center, 26010, Eskişehir, Türkiye

^{2,3}İskenderun Technical University, Department of Mechanical Engineering, 31200, Hatay, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-5615-3124>

²<https://orcid.org/0000-0002-6283-4903>

³<https://orcid.org/0000-0002-7997-9631>

*Sorumlu yazar: ferhatceritbinmez@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 26.01.2022

Kabul tarihi: 20.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

EEİ

TKO

EAO

Kerf

Sleipner

ÖZ

Bu çalışmada, 60-62 HRC sertliğe sahip Sleipner soğuk iş takım çeliğine EEİ'de bakır ve pirinç elektrotlar'la üç farklı akım değeri (50, 25, 12,5 A), üç farklı ark süresi (3, 6, 9 μ s) ve bekleme süreleri (4, 6, 8 μ s) kullanılarak delikler delinmiş, bu çalışma parametrelerinin operasyon sürelerine, talaş kaldırma oranına (TKO) ve elektrot aşınma oranına (EAO), işlenen parçaların delik giriş-çıkış çaplarına, iş parçası ve elektrot üzerindeki kerf'e etkileri analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, bakır elektrot kullanımında TKO pirinç elektrot kullanımına göre ortalama %311,25 artarken, EAO ve işleme süresi sırasıyla %42,01 ve %38,46 oranında azalmıştır. İş parçası ile elektrot arasındaki kıvılcımlanmanın ve termal etkilerin artması TKO'nun artması ve işleme süresinin azalmasını sağlamıştır. Farklı işleme parametreleriyle bakır ve pirinç elektrot kullanımında delinen deliklerin giriş çaplarının çıkış çaplarından büyük olduğu görülmüş, aşınan elektrotlar sebebiyle debris tahliyesine bağlı olarak düzensiz bir kerf oluşumuna rastlanmıştır.

MRR, EWR and KERF Analysis in Cold Work Tool Steel Machining in EDM Method by Copper and Brass Electrode

Research Article

Article History:

Received: 26.01.2022

Accepted: 20.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

EDM

MRR

EWR

Kerf

Sleipner

ABSTRACT

In this study, holes were drilled on the Sleipner cold work tool steel with a hardness of 60-62 HRC by copper and brass electrodes using three different current values (50, 25, 12.5 A), pulse on times (3, 6, 9 μ s) and pulse off times (4, 6, 8 μ s) parameters in the EDM method; the effects of these working parameters on machining times, material removal rate (MRR), electrode wear rate (EWR), the hole inlet-outlet diameters of the machined parts, the kerf on workpiece and electrode were analyzed. As a result of the analyzes made, in the use of copper electrodes, the MRR increased by 311.25% on average compared to the use of brass electrodes, while the EWR and machining time decreased by 42.01% and 38.46%, respectively. The increase in sparking and thermal effects between the workpiece and the electrode resulted in an increase in the MRR and a decrease in the machining time. In the use of copper and brass electrodes with different processing parameters, the inlet diameters of the drilled holes were found to be larger than the outlet diameters as well as an

To Cite: Ceritbinmez F, Gökkaya ES., Kanca E. Bakır ve Pirinç Elektrot ile EDM Yönteminde Soğuk İş Takım Çeliği İşlemede MRR, EWR ve KERF Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 35-51.

1. Introduction

Electro discharge machining (EDM) is a method of removing metal from the electrically conductive workpiece by thermal effects by using copper, brass or similar electrode material in a dielectric environment (Dhanabalan et al., 2015; Payal et al., 2008; Pavan and Sateesh, 2021). In this method, the workpiece melts and evaporates due to the high temperature created by the rapid electrical discharges that occur between the electrode (cathode) and the workpiece (anode). As a result of these repeated processes, the material removal is completed without contact so that the electrode form is discharged on the workpiece (Azad and Puri, 2012; D'Urso et al., 2016; Niamat et al., 2019; Quarto et al., 2020). The non-contact and thermal processing properties of this method enable high-hardness materials, which are not possible to be processed by conventional methods, to be easily processed with this method (Akbulut and Kürşad, 2020; Shu et al., 2006). In this method, the electrode material used during material removal from the workpiece also wears off a little, which directly affects the machining time, metal removal rate and electrode wear rate. For these reasons, the mechanical, physical and chemical properties of the electrodes used in the EDM process are very important. In addition, the EDM processing parameters selected with the electrodes affect the process quality (Ceritbinmez and Yapıcı, 2021). Mahajan et al. investigated EDM machinability of high strength, temperature resistant steels by copper, brass, graphite, copper tungsten etc. electrodes. They reported that the material removal rate of the copper electrode was higher than that of the brass electrode as well as the wear rate of the brass electrode was higher than the copper electrode due to the thermal conductivity and melting point of the copper electrode are higher than the brass electrode (Mahajan et al., 2018). Sahu ve Mahapatra used copper, brass and AlSi10Mg RP as electrode material also EDM-30 as dielectric fluid in the processing of titanium alloy and AISI 1040 steel by EDM method. The effects of machining parameters such as current and pulse on time on the average surface roughness of the machined surfaces, surface crack density, white layer thickness and microhardness of the white layer were investigated by them. As a result of scanning electron microscope to observe surface cracks and Gray-TOPSIS method for analysis of optimum parameters, they reported that the best surface properties were obtained in the use of AlSi10Mg RP electrodes at low current and arc duration processing parameters (Sahu ve Mahapatra, 2020). Nas et al. used copper and graphite electrodes with processing parameters such as current values (10, 20, 30 A), three different pulse on times (100, 200, 300 μ s) and pulse off times (10, 20, 30 μ s) parameters to remove chips from AISI 1.2738 material in the EDM method. They tried to determine the ideal parameters for the lowest surface roughness by using the obtained data in the Taguchi Orthogonal Array Design L54 statistical method. As a result of

the analysis, the most effective parameters on the surface roughness were determined as current, pulse on time, pulse of time and electrode material type, respectively. The lowest average surface roughness values were calculated as 4.73 μm by selecting the Ton 300 μs , Toff 30 μs and 10 A parameters in the use of copper electrodes, and as 4.35 μm by selecting the Ton 100 μs Toff 10 μs and 20 A parameters in the use of graphic electrodes (Nas et al., 2018). Joshi et al. investigated the processing of EN8 mold steel using copper electrodes in the EDM method and the effects of machining parameters on the roughness of the machined surfaces. They emphasized that the electrode wear rate was proportional to the material removal rate at high values of the machining parameters (Joshi et al., 2020). Mouralova et al. examined the corner and edge wear of the electrodes under electron microscope by removing chips from 1.2363 and 1.2343 ESR steels with different machining parameters using copper and graphite electrodes in the EDM method. They also investigated the wear rate of the electrodes used, the topography and surface morphology of the processed samples. They reported that there was less wear in the use of graphite electrodes, and a more precise shape and size was obtained due to the preservation of the electrode form (Mouralova et al., 2020).

In this study, chips were removed from Sleipner Cold Work Tool Steel with chromium-molybdenum-vanadium alloy with good wear resistance, high compressive strength and high hardness value by EDM method using Cupro MAX brand copper and Cuprass 3 brand high strength special brass alloy electrodes. In this context, the effects of different processing parameters on key performance outputs such as MRR, EWR, KERF and processing time were determined by analytical measurements and macro analysis. In addition, copper and brass electrode performances were evaluated and reported. The results from this article have the potential to be an invaluable reference for quality EDM applications with the best MRR, EWR, Kerf and machining time.

2. Materials and Methods

2.1. Workpiece Material

In this study, cold work tool steel Uddeholm Sleipner, which is increasingly used in industry, was chosen as workpiece. This steel is a general purpose cold work tool steel with chromium-molybdenum-vanadium alloy, high hardness and wear resistance (Kirkhorn et al., 2012; Pantazopoulos et al., 2006). Technical specifications are provided by Alseko Metal company with heat treatment; Its chemical components and mechanical properties are given in Tables 1 and 2, respectively. The dimensions of the workpiece used in the experiments were 80 x 80 x 3 mm, and these samples were sliced using a WEDM machine from a billet of 250 x 300 x 80 mm.

Table 1. Sleipner chemical component (Uddeholm, 2022)

| Carbon (% C) | Silicium (% Si) | Manganese (% Mn) | Chrome (% Cr) | Molibden (% Mo) | Vanadium (% V) | Iron (% Fe) |
|-----------------|--------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| 0.9 | 0.9 | 0.5 | 7.8 | 2.5 | 0.5 | Remnant |

Table 2. Sleipner Mechanical Properties (Uddeholm, 2022)

| Hardness (HRC) | Thermal conductivity (W/m•°C) | Specific heat capacity (J/kg•°C) | Modulus of elasticity (kN/mm ²) | Coefficient of thermal expansion | Density (g/cm ³) |
|----------------|-------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|
| 60-62 | 20-25 | 460 | 205 | 12.7x10-6 | 7.73 |

2.2. Electrode Materials

In this study, Cupro MAX brand copper electrode alloyed with chromium and zirconium, which was supplied by Sağlam Metal, was used. The chemical components and mechanical properties of this material are given in Tables 3 and 4, respectively.

Table 3. Cupro MAX chemical components (Sağlam Metal, 2022)

| Chromium (% Cr) | Zirconium (% Zr) | Other (%) | Copper (% Cu) |
|-----------------|------------------|-----------|---------------|
| 0.5-1.2 | 0.03-0.3 | Maks.0.2 | Remnant |

Table 4. Cupro MAX Mechanical Properties (Sağlam Metal, 2022)

| Hardness (HB) | Tensile Strength (N/mm ²) | Yield Strength (N/mm ²) | Modulus of Elasticity (GPa) | Elongation (%) | Density (g/cm ³) |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| 135-170 | 400-500 | 320-410 | 122 | 18 | 8.9 |

Table 5. Cupro MAX Physical characteristics (Sağlam Metal, 2022)

| Electrical Conductivity (MS/m) | Thermal Expansion Coefficient (10-6/K) | Thermal Conductivity (W/mK) | Density (g/cm ³) |
|--------------------------------|--|-----------------------------|------------------------------|
| 45 | 17 | 320 | 8.9 |

Cupro MAX physical properties are also listed in Table 5. The electrodes supplied from the supplier in the form of rods were turned on a lathe to measure Ø 8 mm in diameter and 20 mm in length as shown in Figure 1. In order to connect these electrodes to the electrode holder on the EDM bench, M5x10 threads were drilled on the back side of the electrode. All electrodes were manually connected to the electrode holder individually before the experiments.

**Figure 1.** Turned electrodes prepared for EDM: (a) Copper (b) brass

In this study, Cuprass 3 brand high strength special brass alloy belonging to the manganese bronze family was used in order to discuss the effects of the electrode material type on the process quality and machining time. This material was supplied from Sağlam Metal Company and its chemical, mechanical and physical properties are given in Tables 6, 7 and 8, respectively.

Table 6. Cuprass 3 chemical components (Sağlam Metal, 2022)

| Aluminium (% Al) | Iron (% Fe) | Manganese (% Mn) | Zinch (% Zn) | Copper (% Cu) |
|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|------------------|
| 3-7 | 1.5-4 | 2.5-5 | Kalan | 60-67 |

Table 7. Cuprass 3 Mechanical Properties (Sağlam Metal, 2022)

| Hardness (HB) | Tensile Strength (N/mm ²) | Yield Strength (N/mm ²) | Moduls of Elasticity (GPa) | Elongation (%) | Density (g/cm ³) |
|------------------|--|--|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 180-225 | 820 | 460 | 105 | 14 | 7.7 |

Table 8. Cuprass 3 Physical characteristics (Sağlam Metal, 2022)

| Electrical Conductivity (MS/m) | Thermal Expansion Coefficient (10 ⁻⁶ /K) | Thermal Conductivity (W/mK) | Density (g/cm ³) |
|-----------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|
| 5 | 22 | 36 | 7.7 |

2.3. Machining Method

Furkan Brand 50 Ampere EDM (electric discharge machining) machine was used for the experiments. In the selection of the experimental parameters, the machine safe operating parameter range was taken as a reference. In addition, the best reference values obtained as a result of industrial applications were selected. In order to evacuate the sawdust between the electrode and the workpiece, Eralube brand dielectric liquid was sprayed by means of spiral metal hoses and the erosion process was carried out under dielectric liquid as shown in Figure 2. Before erosion, the dielectric liquid was sprayed with spiral metal hoses in a way to completely submerge the workpiece in the dielectric liquid, and it was evacuated from the environment after the erosion process.

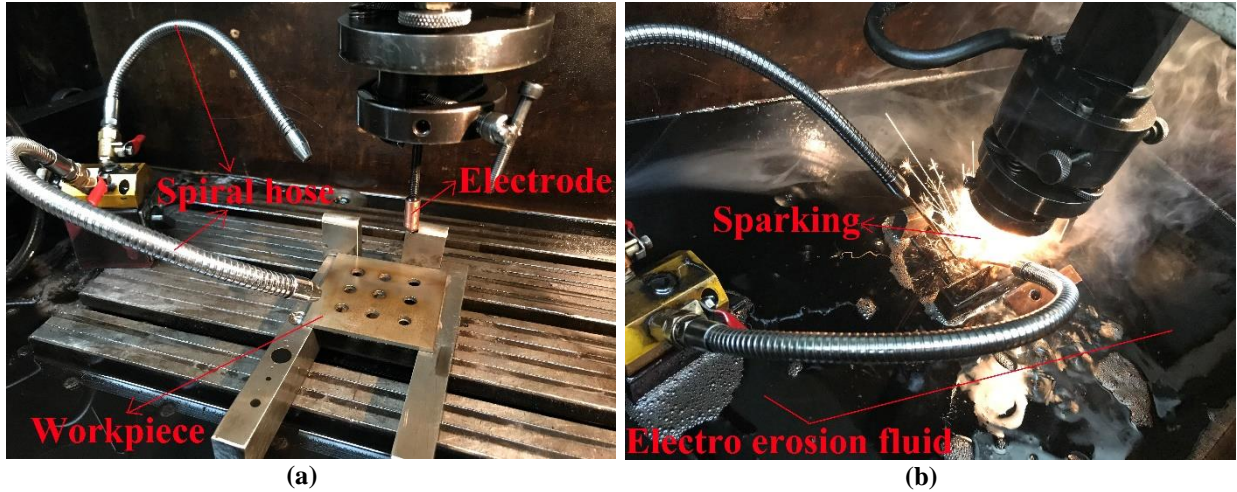


Figure 2. Erosion process on Furkan EDM machine: **a** Erosion onset, **b** Erosion under dielectric liquid

2.4. Material Removal Rate (MRR) Calculations

The equality shown in Equation (1) was used to calculate the effects of different machining parameters on the MRR (material removal rate) (Kuppan et al., 2008; Rajesha et al., 2012; Soydan et al., 2020). The amount of abraded material was determined by weighing the workpiece before and after each experiment on a balance with a sensitivity of 0.001 g. In addition, each test period was recorded with

the help of a chronometer and used in the calculation of the MRR.

$$MRR \left(\frac{g}{min} \right) = \frac{Initial\ weight\ of\ material - final\ weight\ of\ material}{Machining\ Time} \quad (1)$$

2.5. Electrode Wear Rate (EWR) Calculations

Electrode wear rates were determined using Equation (2) by proportioning the weight of each electrode material used in the experiments before and after machining to the processing time (Maan et al., 2018; Raj et al., 2020).

$$EWR \left(\frac{g}{min} \right) = \frac{Initial\ weight\ of\ electrode - final\ weight\ of\ electrode}{Machining\ Time} \quad (2)$$

2.6. Kerf Measurements

After the workpieces were drilled with electrodes, the kerf taper angle was calculated using the Equation (3), taking into account the hole inlet and outlet dimensions. In this equation, the hole entrance dimensions and the size of the electrode bodies (a); hole outlet, base, and electrode tip dimensions (b); hole depth and electrode processing area dimensions were calculated as t as shown in Figure 3 (Skrabalak et al., 2018).

$$Kerf\ Taper\ Angle\ (T) = Arctan \left(\frac{a-b}{2.t} \right) \quad (3)$$

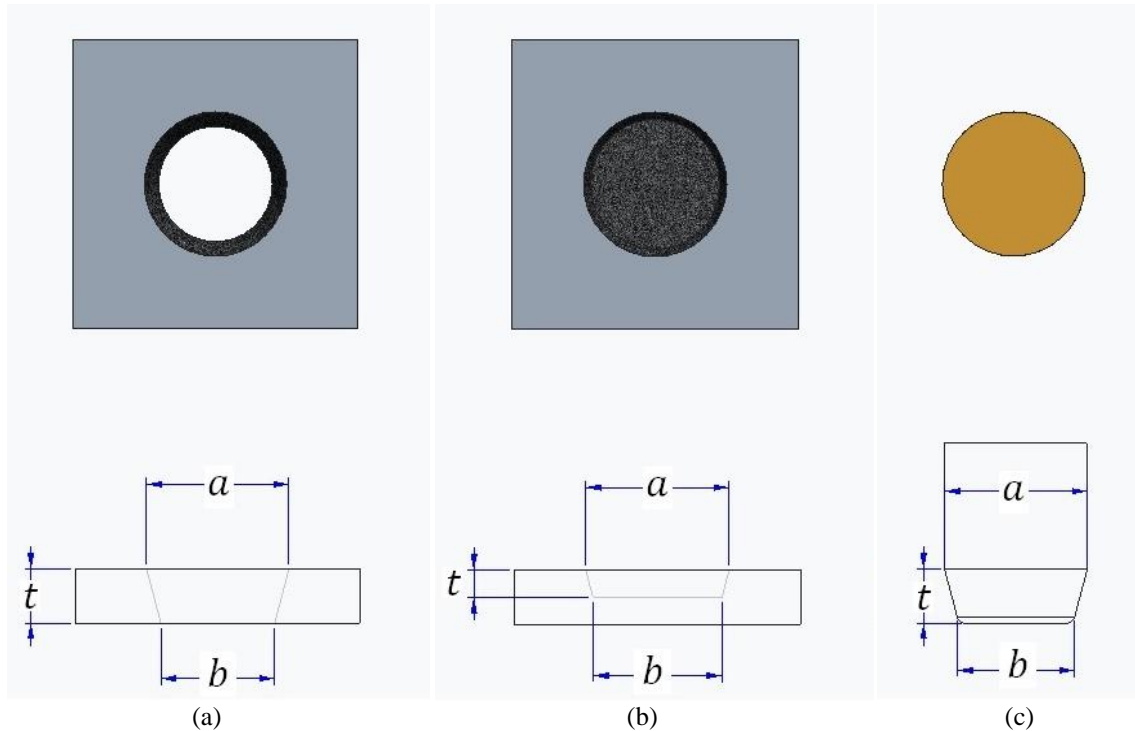


Figure 3. Measurement description of kerf taper angle: (a) through hole, (b) blind hole, (c) electrode tip

Hole entry size (a), hole exit size (b) and hole depth (t) of workpieces drilled with EDM were detected using a Mitutoyo digital caliper with a measurement accuracy of 0.01 mm. In the kerf measurements of the workpiece that was not drilled through, the diameter at the bottom of the blind hole was taken into account as the hole exit size as shown in Figure 3b. In the measurements made, it was determined that there were dimensional differences in the inlet and outlet regions of the material processed with EDM, therefore, a kerf conical angle formed on the electrodes. To detect these differences, measurements were made using Mitutoyo digital micrometers with a measurement accuracy of 0.001 mm from the ends and body parts of the electrodes, as shown in Figure 4 (Ceritbinmez and Kanca, 2021).

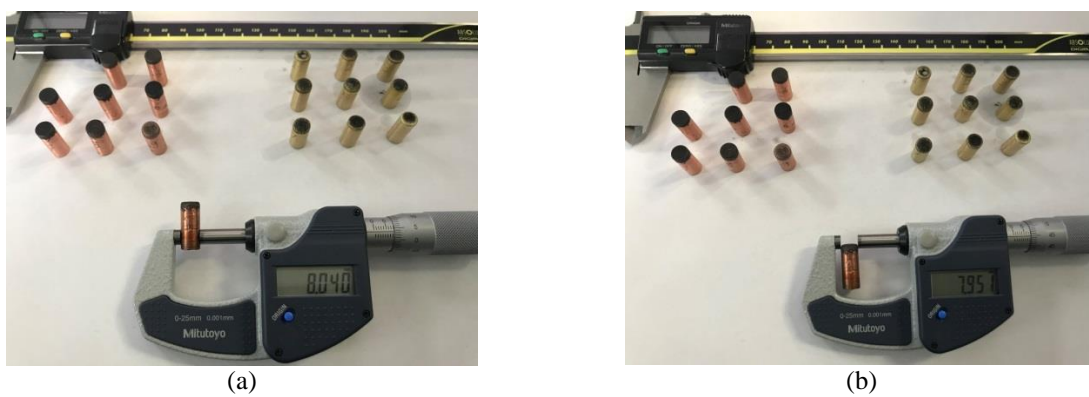


Figure 4. Electrode Kerf measurement: (a) Body measurement, (b) Tip measurement

It was observed that the diameters of the tip and body parts were different from each other due to the wear on the treated parts of the copper and brass electrodes used in the EDM, and the kerf angle was formed due to the abrasions on the tip parts.

3. Results and Discussion

The experimental data and the results obtained using different processing parameters are listed in Tables 9 and 10 according to the use of copper and brass electrodes. It was observed that the processing time, MRR, EWR and kerf angles changed with the change of selected discharge current, pulse on-off time and electrode types.

Table 9. EDM operating parameters and analysis results (Copper electrode)

| Test No | Discharge Currents (A) | Servo Voltage (V) | Pulse On Times (μ s) | Pulse Off Times (μ s) | Machining Time (min) | MRR (g/min) | EWR (g/min) | Kerf (degree) | |
|---------|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------|-----------|
| | | | | | | | | Workpiece | Electrode |
| 1 | 50 | 60 | 6 | 4 | 2 | 0.640 | 0.326 | 4.10 | 0.85 |
| 2 | 25 | 60 | 6 | 4 | 3 | 0.413 | 0.149 | 2.77 | 0.46 |
| 3 | 12.5 | 60 | 6 | 4 | 6 | 0.209 | 0.033 | 1.34 | 0.27 |
| 4 | 25 | 60 | 9 | 8 | 3 | 0.438 | 0.119 | 1.91 | 0.57 |
| 5 | 25 | 60 | 9 | 6 | 4 | 0.310 | 0.078 | 2.86 | 0.07 |
| 6 | 25 | 60 | 9 | 4 | 4 | 0.328 | 0.078 | 2.10 | 1.58 |
| 7 | 25 | 60 | 9 | 6 | 4 | 0.321 | 0.060 | 2.67 | 0.39 |
| 8 | 25 | 60 | 6 | 6 | 5 | 0.254 | 0.015 | 2.67 | 0.48 |
| 9 | 25 | 60 | 3 | 6 | 25 | 0.050 | 0.024 | 1.00 | 0.60 |

Table 10. EDM operating parameters and analysis results (Brass electrode)

| Test No | Discharge Currents (A) | Servo Voltage (V) | Pulse On Times (μ s) | Pulse Off Times (μ s) | Machining Time (min) | MRR (g/min) | EWR (g/min) | Kerf (degree) | |
|---------|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------|-----------|
| | | | | | | | | Workpiece | Electrode |
| 1 | 50 | 60 | 6 | 4 | 4 | 0.162 | 0.329 | 2.95 | 0.55 |
| 2 | 25 | 60 | 6 | 4 | 5 | 0.088 | 0.281 | 3 | 2.26 |
| 3 | 12.5 | 60 | 6 | 4 | 7 | 0.071 | 0.171 | 0.72 | 0.41 |
| 4 | 25 | 60 | 9 | 8 | 12 | 0.080 | 0.071 | 1.25 | 0.31 |
| 5 | 25 | 60 | 9 | 6 | 15 | 0.056 | 0.072 | 2 | 0.24 |
| 6 | 25 | 60 | 9 | 4 | 17 | 0.045 | 0.067 | 1.94 | 0.15 |
| 7 | 25 | 60 | 9 | 6 | 13 | 0.074 | 0.084 | 4.34 | 0.84 |
| 8 | 25 | 60 | 6 | 6 | 4 | 0.106 | 0.368 | 2.83 | 0.31 |
| 9 | 25 | 60 | 3 | 6 | 14 | 0.042 | 0.082 | 1.97 | 0.40 |

EDM is an electro-thermal machining process. Here, the electrical energy is used to create an electric spark (arc) and as a result, the chips are removed with the thermal energy (Abhishek et al., 2017). In the case of different processing parameters and especially high current usage, different sizes of point melting and evaporation can occur on the processed surfaces. The energy transmission required for this melting and evaporation is provided with the help of the electrodes used. The treated ends and edges of the copper and brass electrodes used in this study are shown in Figure 5.

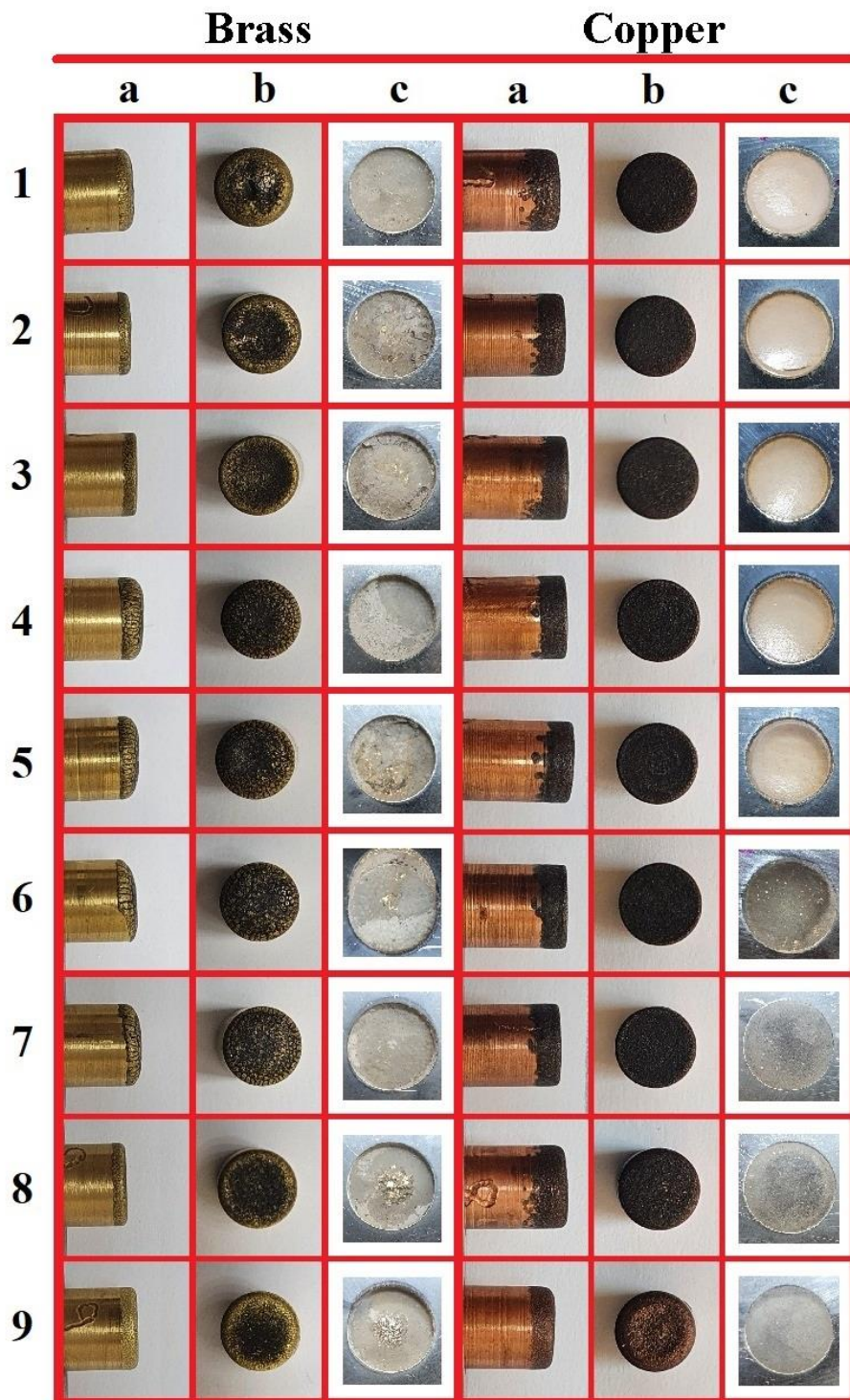


Figure 5. Processed test samples: (a) electrode side (b) electrode top (c) workpiece hole

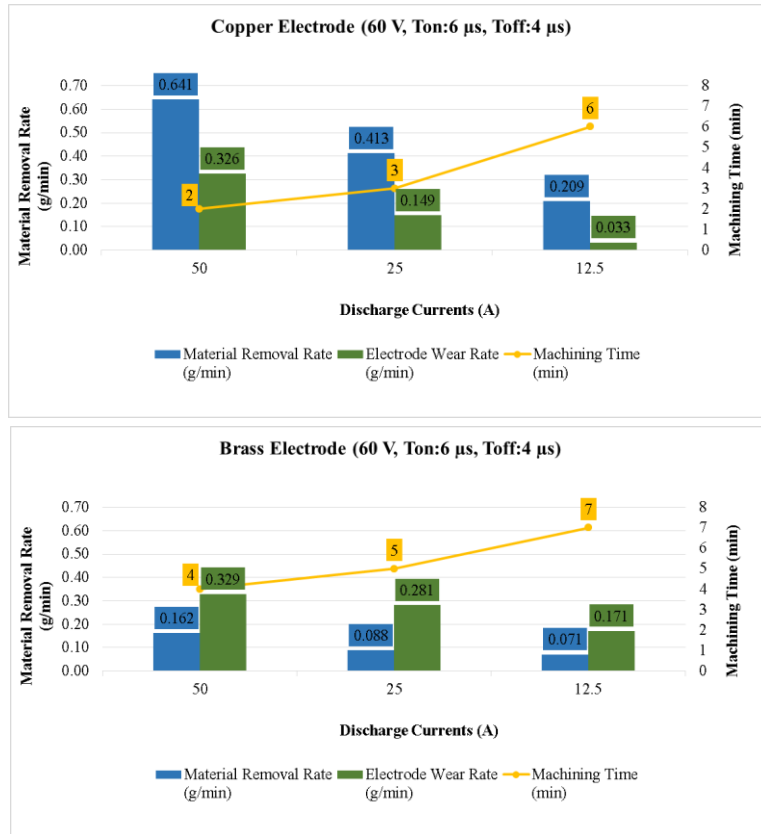


Figure 6. Material removal rate and machining times due to increased machining current

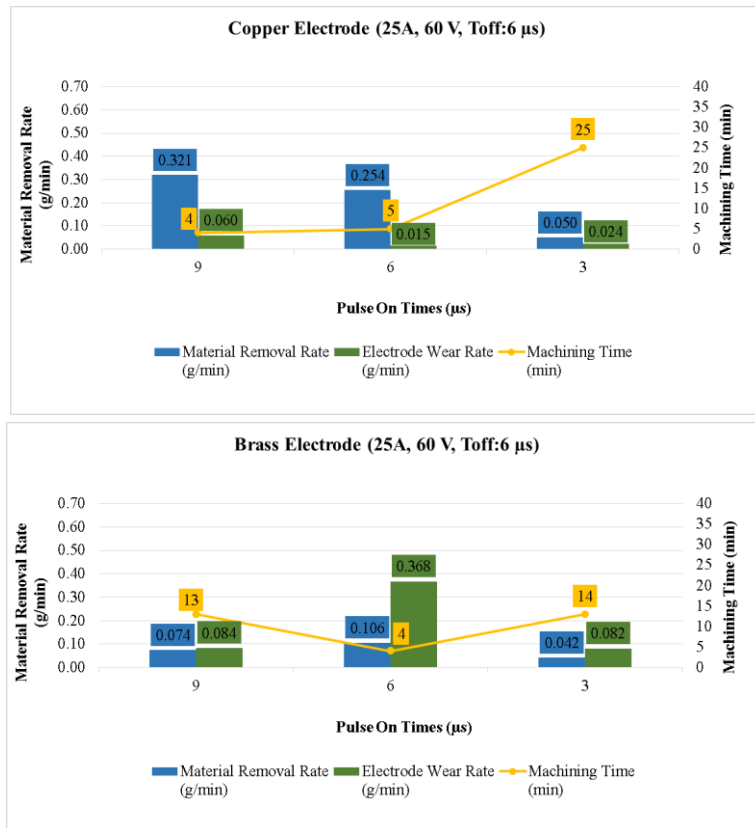


Figure 7. Material removal rate and machining times due to increased pulse on time

In the use of both copper and brass electrodes at constant voltage, pulse on times and pulse off times; as the machining current increased, the material removal rate and electrode wear rate increased and the machining time decreased due to the increased sparking between the workpiece and the electrode. Machining current was determined as the most effective parameter compared to other parameters in terms of effect on machining time, MRR and EWR. It is seen in Figure 6 that the ratios obtained are linear in copper and brass electrodes.

When the graphs in Figure 7 are examined, it is seen that the decrease in the arc duration increases the processing time in the use of both copper and brass electrodes. In Figure 7, the high thermal conductivity and thermal conductivity of the electrode led to an increase in the metal removal rate at high arc times in the use of copper electrodes. The electrode wear rate increased and the material removal rate decreased compared to copper electrodes in the use of brass electrodes since the mechanical and physical properties of the brass electrode are lower than that of copper (Pavan et al., 2021).

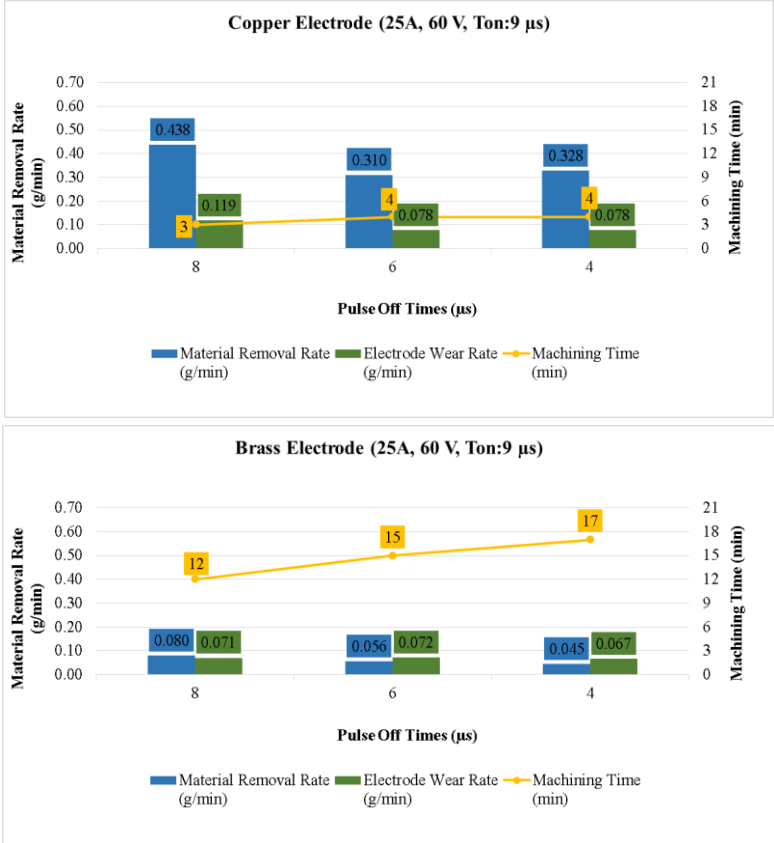


Figure 8. Material removal rate and machining times based on pulse off time

Figure 8 shows the effects of varying pulses off times at constant 25A current, 60V voltage and 9µs pulse on time. The pulse off time is the period of no arcing between two pulse on times. In general, although the increase in the pulse off time increases the processing time, in this study, the MRR increased with the increase in the pulse off time, and the machining time decreased in general. The

long pulse off time allowed the debris and electrode residues that spread to the environment during the arc to be evacuated successfully in the arc area with the sprayed electro-erosion liquid, both increasing the material removal rate and shortening the processing time.

In EDM, there is no mechanical contact between the electrode and the workpiece, there is a repetitive electrical discharge in a dielectric environment. As a result of the heat reaching approximately 20,000°C, melting and evaporation occur in the workpiece. No mechanical stress occurs in this process (Sengottuvel et al., 2013; Torres et al., 2017). The deformations that occur at the corners of the electrodes during EDM are mainly caused by the excessive electrical density at the electrode tip (Yıldız, 2018). This causes excessive wear on the corners of the electrodes. The form and size of the electrode material at the beginning of erosion are not the same as after EDM. For this reason, the start and end dimensions of the form on the workpiece are different. This causes the kerf angle. In Tables 11 and 12, the dimensions of the workpiece drilled with copper and brass electrodes, respectively, and the kerf angles determined on the workpiece and electrode are given. In this study, a process was applied to remove chips at a distance of 5 mm from the surface of the 3 mm thick workpiece with the EDM machine. While drilling with copper electrodes, 3 mm deep holes were obtained on the workpiece, blind holes with a depth of 1.01 – 2.30 mm were obtained in the use of brass electrodes due to electrode wear.

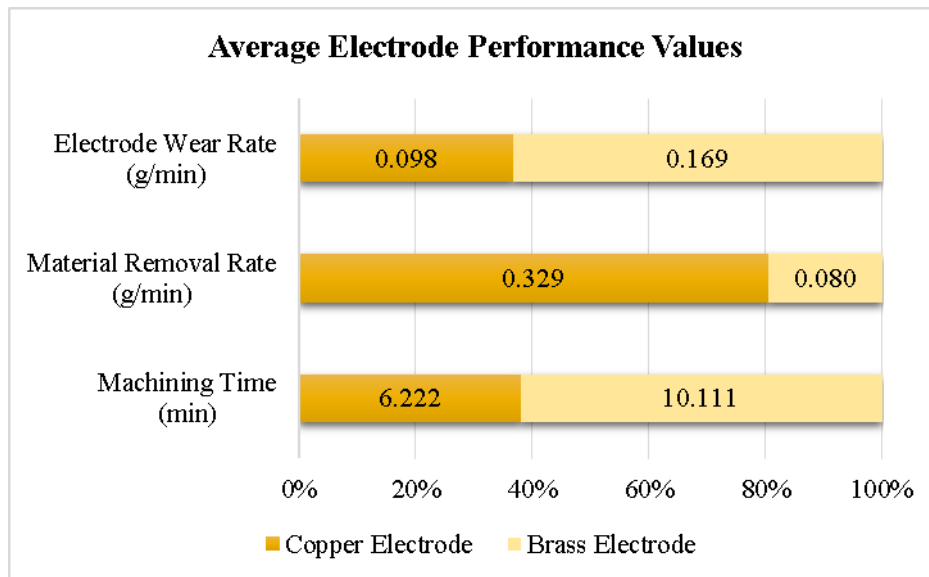
Table 11. Hole diameters and kerf angles of materials processed by copper electrodes

| Test No | Sleipner Workpiece | | | Kerf (degree) | |
|---------|--------------------|-------------------|------------|--------------------|-------------------|
| | Hole top dia. (mm) | Hole in dia. (mm) | Depth (mm) | Hole top dia. (mm) | Hole in dia. (mm) |
| 1 | 8.60 | 8.17 | 3.00 | 4.10 | 0.85 |
| 2 | 8.40 | 8.11 | 3.00 | 2.77 | 0.46 |
| 3 | 8.38 | 8.24 | 3.00 | 1.34 | 0.27 |
| 4 | 8.60 | 8.40 | 3.00 | 1.91 | 0.57 |
| 5 | 8.40 | 8.10 | 3.00 | 2.86 | 0.07 |
| 6 | 8.60 | 8.38 | 3.00 | 2.10 | 1.58 |
| 7 | 8.54 | 8.26 | 3.00 | 2.67 | 0.39 |
| 8 | 8.50 | 8.22 | 3.00 | 2.67 | 0.48 |
| 9 | 8.34 | 8.24 | 3.00 | 1.00 | 0.60 |

Table 12. Hole diameters and kerf angles of materials processed by brass electrodes

| Test No | Sleipner Workpiece | | | Kerf (degree) | |
|---------|--------------------|-------------------|------------|--------------------|-------------------|
| | Hole top dia. (mm) | Hole in dia. (mm) | Depth (mm) | Hole top dia. (mm) | Hole in dia. (mm) |
| 1 | 8.40 | 8.24 | 1.55 | 2.95 | 0.55 |
| 2 | 8.37 | 8.26 | 1.05 | 3 | 2.26 |
| 3 | 8.30 | 8.27 | 1.20 | 0.72 | 0.41 |
| 4 | 8.40 | 8.30 | 2.30 | 1.25 | 0.31 |
| 5 | 8.40 | 8.26 | 2.00 | 2 | 0.24 |
| 6 | 8.23 | 8.10 | 1.92 | 1.94 | 0.15 |
| 7 | 8.60 | 8.26 | 2.24 | 4.34 | 0.84 |
| 8 | 8.40 | 8.30 | 1.01 | 2.83 | 0.31 |
| 9 | 8.30 | 8.20 | 1.45 | 1.97 | 0.40 |

The comparison of the average material removal rate, electrode wear rate and machining times obtained depending on the use of copper and brass electrodes in a single graph is shown in Figure 9. These values were calculated by taking the arithmetic mean of all test results.

**Figure 9.** Performance values of Copper and Brass electrodes

In the use of copper electrodes, the metal removal rate increased by 311.25% on average, compared to the use of brass electrodes, while the electrode wear rate and machining time decreased by 42.01% and 38.46%, respectively. This can be explained by the higher thermal conductivity and electrical conductivity of the copper electrode than the brass electrode. The increase in sparking and thermal effects between the workpiece and the electrode resulted in an increase in the metal removal rate and a decrease in the machining time (Pavan et al., 2021).

4. Conclusions

- It is seen that the decrease in pulse on time increases the machining time in the use of both copper and brass electrodes. In the use of copper electrodes, the high electrical conductivity and thermal conductivity of the electrode at high pulse on time result in an increase in the MRR.
- In the use of both copper and brass electrodes at constant voltage, pulse on time and pulse off time, as the machining current increases, the MRR and EWR increase and the machining time decreases due to the increased sparking between the workpiece and the electrode. Machining current is determined as the most effective parameter in terms of effect on machining time, MRR and EWR compared to other parameters.
- In general, although the increase in the pulse off time increases the machining time; in this study, the MRR increases with the increase in the pulse off time, and the machining time decreases in general. The successful evacuation of the debris and electrode residues that spread to the environment during the long pulse off time in the arc area with the sprayed electro-erosion liquid increases the MRR and shortens the processing time.
- In the use of copper and brass electrodes with different processing parameters, the inlet diameters of the drilled holes are found to be larger than the outlet diameters as well as an irregular kerf formation is observed due to debris evacuation and worn electrodes.
- In the use of copper electrodes, the metal removal rate increases by 311.25% on average, compared to the use of brass electrodes, while the electrode wear rate and machining time decrease by 42.01% and 38.46%, respectively. This can be explained by the higher thermal conductivity and electrical conductivity of the copper electrode than the brass electrode. The increase in sparking and thermal effects between the workpiece and the electrode result in an increase in the metal removal rate and a decrease in the machining time.

Acknowledgments

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Authors' contributions

FC and EK designed the structure. FC fabricated the device, carried out the experiments work, the theoretical calculations, in collaboration with EK, and wrote up the article. ESG came up with the idea of the study. FC, EK and ESG contributed to the interpretation and English writing. All authors have read and approved the final version of the article.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Refereneces

- Abhishek K., Datta S., Biswal BB., Mahapatra SS. Machining performance optimization for electro-discharge machining of Inconel 601, 625, 718 and 825: an integrated optimization route combining satisfaction function, fuzzy inference system and Taguchi approach. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 2017; 39(9): 3499-3527.
- Akbulut A., Kürşad GÖV. Micro hole drilling of aerospace materials and regression analysis. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 2020; 7(2): 710-723.
- Azad MS., Puri AB. Simultaneous optimisation of multiple performance characteristics in micro-EDM drilling of titanium alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2012; 61(9): 1231-1239.
- Ceritbinmez F., Kanca E. The effects of cutting parameters on the kerf and surface roughness on the electrode in electro erosion process. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2021; 9 (2): 335-346.
- Ceritbinmez F., Yapıcı A. Investigation of the effect of processing parameters on kerf and surface roughness in the machining of Sleiþner cold work tool steel with copper chromium zirconium alloy electrode in electro-erosion machine. *The Black Sea Journal of Sciences* 2021; 11(2): 570-583.
- Dhanabalan S., Sivakumar K., Narayanan CS. Experimental investigation on electrical discharge machining of titanium alloy using copper, brass and aluminum electrodes. *Journal of Engineering Science and Technology* 2015; 10(1): 72-80.
- D'Urso, G., Maccarini, G., & Ravasio, C., Influence of electrode material in micro-EDM drilling of stainless steel and tungsten carbide. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2016; 85(9), 2013-2025.
- Engin, N. A. S., Argun, K., & Zurnacı, E., Invesigation of effect on surface roughness of parameters at machining with graphide electrode in EDM of AISI 1.2738 Steel. *Düzce University Journal of Science and Technology* 2018; 6(4), 1082-1093.
- <https://www.uddeholm.com/tr/products/uddeholm-sleipner/> (Erişim 30.04.2022)
- <https://www.saglammetal.com/en/copper/hard-copper-alloys/cupro-max-cucrzt> (Erişim 30.04.2022)
- <https://www.saglammetal.com/tr/bronz/pirincler/cuprass-cuznal> (Erişim 30.04.2022)
- Joshi A., Saraf AK., Goyal RK. EDM machining of die steel EN8 and testing of surface roughness with varying parameters. *Materials Today: Proceedings* 2020; 28, 2557-2560.
- Kirkhorn L., Frogner, K., Andersson, M., Ståhl JE. Improved tribotesting for sheet metal forming. *Procedia CIRP* 2012; 3, 507-512.
- Kuppan P., Rajadurai A., Narayanan S. Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2008; 38(1): 74-84.

- Mahajan R., Krishna H., Singh AK., Ghadai RK. A review on copper and its alloys used as electrode in EDM. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018; 377(1):. 012183.
- Mouralová K., Bednar J., Benes L., Hrabec P., Kalivoda M., Fries J. The analysis of EDM electrodes wear in corners and edges. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2020; 20(4): 1-14.
- Niamat M., Sarfraz S., Shehab E., Ismail SO., Khalid QS. Experimental characterization of electrical discharge machining of aluminum 6061 T6 alloy using different dielectrics. Arabian Journal for Science and Engineering 2019; 44(9): 8043-8052.
- Pantazopoulos G., Psyllaki P., Kanakis D., Antoniou S., Papadimitriou K., Sideris J. Tribological properties of a liquid nitrocarburised special purpose cold work tool steel. Surface and Coatings Technology 2006; 200(20-21): 5889-5895.
- Pavan C., Sateesh N. Taguchi analysis on machinability of Inconel 600 using copper, brass, and copper tungsten electrodes in EDM. Materials Today: Proceedings 2021; 46, 9281-9286.
- Payal HS., Choudhary R., Singh S. Analysis of electro discharge machined surfaces of EN-31 tool steel 2008.
- Quarto M., D'Urso G., Giardini C., Maccarini G. FEM model development for the simulation of a micro-drilling EDM process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2020; 106(7): 3095-3104.
- Raj S., Sinha HR., Das S., Guha S., Banik D., Routara BC. Optimization of surface topography of electro-discharge machined super alloy inconel 825: using TOPSIS integrated with taguchi philosophy. Materials Today: Proceedings 2020; 24, 218-224.
- Rajasha S., Sharma AK., Kumar P. On electro discharge machining of Inconel 718 with hollow tool, Journal of Materials Engineering and Performance 2012; 21(6): 882-891.
- Sahu AK., Mahapatra SS. Surface characteristics of EDMed titanium alloy and AISI 1040 steel workpieces using rapid tool electrode. Arabian Journal for Science and Engineering 2020; 45(2:., 699-718.
- Sengottuvel P., Satishkumar S., Dinakaran D. Optimization of multiple characteristics of EDM parameters based on desirability approach and fuzzy modeling. Procedia Engineering 2013; 64, 1069-1078.
- Shu KM., Shih HR., Tu GC. Electrical discharge abrasive drilling of hard materials using a metal matrix composite electrode. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2006; 29(7): 678-687.
- Skrabalak G. Influence of electrode tool length on the micro EDM drilling performance. Procedia CIRP 2018; 68, 594-598.
- Soydan O., Göv K., Eyercioğlu Ö. Surface finishing of aerospace materials. El-Cezerî Journal of Science and Engineering 2020; 7(2): 700-709.

- Tawfiq MA., Abbas AA.. Effect of current and pulse on time on MRR an EWR for different inner electrode shape of EDM process. *Global Journal of Engineering Science and Research Management* 2018; 5(8): 13–26.
- Torres A., Puertas I., Luis CJ. EDM machinability and surface roughness analysis of INCONEL 600 using graphite electrodes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2016; 84(9): 2671-2688.
- Yıldız Y. Die-sinking electrical discharge machining of magnesium-calcium (Mg0.8Ca) alloy for biomedical applications. *Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering* 2018; 20(59): 336-346.

Bayburt İlinde Yetişen Yabani Meyvelerin Tespiti ve Bazı İncelemeler

Abdurrahman SEFALI*

¹Bayburt Üniversitesi Eğitim Fakültesi Temel Eğitim Bölümü Sınıf Öğretmenliği Anabilim Dalı, Bayburt

¹<https://orcid.org/0000-0002-0092-0857>

*Sorumlu yazar: asef4petal@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.04.2022

Kabul tarihi:29.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Bayburt

Yabani meyve

Flora

Rosaceae

Bu çalışmada, 2019-2021 yılları arasında Bayburt ilinde tespit edilen 11 familyanın 20 cinsine ait 54 odunsu, yabani meyve bulunduran takson verilmiştir. 54 taksonun 4'ü (%7,4) endemiktir. Tespit edilen taksonların %67'si çok bölgeli ya da bölgesi bilinmeyenler, %15'i Akdeniz, %9'u İran-Turan, %7'si Karadeniz ve %1'i ise Hirkanya-Karadeniz fitocoğrafik bölge elementidir. Alan içerisinde en fazla takson sayısına sahip familya 30 takson ile Rosaceae'dir. 7 takson sayısına sahip olan *Rosa* en yaygın cinstir. Ayrıca 8 takson Bayburt ili için yeni kayıt olarak verilmiştir. Yabani meyveler bölgede bulunan yabani hayvanlar için besin niteliğindedir. Aynı zamanda tarım ürünlerine göre daha güvenli besin olduklarından özellikle son yıllarda insanlar tarafından rağbet edilmektedirler. Bayburt şehir pazarında ise alç (*Crataegus* × *bornmuelleri*, *C. orientalis* subsp. *orientalis* ve *C. tanacetifolia*), elma (*Malus sylvestris orientalis* var. *orientalis*), armut (*Pyrus elaeagnifolia* subsp. *kotschyana*), yunuseriği (*Prunus divaricata* var. *divaricata*), çakal eriği (*P. spinosa*) ve kuşburnu (*Rosa* spp.) türleri Bayburt şehir pazarında satılmaktadır.

Detection and Some Examination of Wild Fruits Grown in The Bayburt Province

Research Article

Article History:

Received: 07.04.2022

Accepted: 29.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Bayburt

Wild fruit

Flora

Rosaceae

ABSTRACT

In this study, 54 woody, wild fruits taxon belonging to 20 genus of 11 families identified in Bayburt province between 2019-2021 were given. 4 of 54 taxa (7,4%) are endemic. The distribution of detected taxa according to phytogeographical regions is as follows; 67% are multi-region or unidentified, 15% are Mediterranean, 9% Irano-Turanian, 7% are Black Sea and 1% Hyrcania-Black Sea is the element of phytogeographical region. The family with the highest number of taxa in the area was Rosaceae with 30 taxa. *Rosa* with a number of 7 taxa is the most common genus. In addition, 8 taxa are given as new record for the Bayburt province. Wild fruits are food for wild animals in the region. At the same time, people demand them, especially in recent years, as they are safer foods than agricultural products. Hawthorn (*Crataegus* × *bornmuelleri*, *C. orientalis* subsp. *orientalis* and *C. tanacetifolia*), apples (*Malus sylvestris* subsp. *Orientalis*), pear (*Pyrus elaeagnifolia* subsp. *kotschyana*), plum (*Prunus divaricata* var. *divaricata*), cock plum (*P. spinosa*) and rosehip (*Rosa* spp.) species are sold in the Bayburt city market.

To Cite: Sefalı A. Bayburt İlinde Yetişen Yabani Meyvelerin Tespiti ve Bazı İncelemeler. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 52-67.

1. Giriş

Bayburt ili, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde batısında Gümüşhane, doğu ve güneydoğusunda Erzurum, güneyinde Erzincan, kuzeyinde ise Trabzon ve Rize illeri ile çevrili, 3739 km²'lik bir alan içerisinde, deniz seviyesinden ortalama 1550 m yükseklikte yer almaktadır. Alan içerisinde bulunan Çoruh Nehri ve kolları ilin topografyası üzerinde etkili olmuştur (Birinci, 2015). Alanın güneyinde yer alan Kop Geçidi, Bahtlı Dağ, İmalı Dağ ve Coşan Dağı gibi dağlar Doğu Anadolu Bölgesi'ne karşı bir set oluştururken, kuzeyde bulunan Soğanlı Dağları ise Karadeniz'e karşı bir iklim bariyeri niteliğindedir. Dolayısıyla Karadeniz üzerinden gelen nemli hava Bayburt'a ulaşmamaktadır. Bu bağlamda Bayburt, Doğu Karadeniz Bölümü kıyı kuşağına göre farklı özelliklere sahip olup Yukarı Kelkit ve Çoruh Oluğu Yöresi olarak isimlendirilen alan içerisinde bulunmaktadır (Arınç, 2011). Bu alan aynı zamanda Anadolu Diyagonalinin kuzey ucunu (Bayburt-Gümüşhane yakınından) oluşturmaktadır. Anadolu Diyagonalini bu alandan yükselerek güneybatıya doğru uzayıp Akdeniz Bölgesi içinde Orta Toros Dağları ve Nur Dağları olmak üzere iki kola ayrılmaktadır (Gür, 2017). Anadolu Diyagonalini, birçok soy hattının ve taksonun coğrafi dağılım sınırıyla çakıştığından (Li ve ark., 2016) biyolojik çeşitlilik açısından önem arz etmektedir. Çalışma alanı olan Bayburt bu biyolojik çeşitlilik zenginliğinin başlangıç ucunda yer almaktadır.

Meyve ve sebze tüketimi, yüksek lif içerikleri, kimyasal yapıları, vitamin ve mineral içermeleri sebebiyle uzmanlar tarafından önerilmektedirler (Li ve ark., 2016). Yabani bitkiler tarafından üretilen meyvelere yabani meyveler denmektedir. Yabani meyveler yetiştikleri yörelerde yabani hayvanlar ve insanlar için temel gıda kaynağı mahiyetindedir. Örneğin; boz ayı (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) ülkemizin en büyük kara hayvanıdır. Ambarlı (2006) yaptığı araştırmada boz ayının armut (*Pyrus* spp.), elma (*Malus* spp.), erik (*Prunus* spp.), alıç (*Crataegus* spp.) ve böğürtlen (*Rubus* spp.) gibi meyve türleriyle beslendiğini bildirmiştir. Yine benzer şekilde kaya sansarı (*Martes foina* Linnaeus, 1758) da yabani meyvelerden böğürtlen (*Rubus* spp.) ve kuşburnu (*Rosa* spp.) türlerini diyetine dahil etmektedir (Cabezas-Díaz ve ark., 2010; Papakosta ve ark., 2014). Etçil memelilerin pek çok türünün rutin olarak büyük miktarlarda etli meyve yedikleri ve dolayısıyla tohumların yayılmasıyla ilgili otoburlar kadar önemli işlevleri oldukları bilinmektedir (Smythe, 1986; Herrera, 1989; Feldhamer ve ark., 2003). Yabani meyvelerin bazıları insanlar tarafından talep edildiklerinden dolayı pazarlarda satılmaktadır. Örneğin Balıkesir'de pazar yerinde yabani erikler (*Prunus* spp.), armut (*Pyrus amygdaliformis* Vill.), dağ elması (*Eriolobus trilobatus* (Labill. ex Poir.) M. Roem.) ve böğürtlen (*Rubus sanctus* Schreb.) satışı yapılmaktadır (Satıl ve ark., 2007). Benzer şekilde Bitlis'te ise yabani elma (*Malus sylvestris* (L.) Mill. subsp. *orientalis* (Uglitzk.) Browic var. *orientalis*), alıç (*Crataegus* × *sinaica* Boiss.), ve kuşburnu (*Rosa* sp.) türlerinin tıbbi amaçlı kullanıldığı rapor edilmiştir (Demir, 2020).

İnsan ve yabani yaşamın bir parçası olan yabani meyvelerin yetiştiği ortamlar kırıç, susuz veya tarıma elverişsiz habitatlar olabilmektedir (Demir, 2002). Dolayısıyla bu zorlu yaşam şartlarında doğal olarak üretilen meyveler kimyasal içerikleri bakımından zengindirler (Li ve ark., 2016). Ayrıca aynı türe ait

bitkilerin farklı lokasyonlarda ve popülasyonlarda yetişmeleri genotiplerini etkilemekte ve meyvedeki antosiyanin ve flavonoidler bakımından zengin fitokimyasallar içermelerini sağlamaktadır (Li ve ark., 2016). Bunlara rağmen yabani meyveler yeterince tüketilmemekte ve bilinmemektedirler (Li ve ark., 2016). Aslında biręok yabani meyvenin tüketilmesi güvenli ve bazıları ilaç yapımında kullanılmaktadır (Li ve ark., 2016). Ayrıca yabani bir tür kültüre alındığında biyolojik aktiviteleri azalabilmektedir (Demir, 2002). Bunun nedeninin kalıtsal özelliklerin yanında, kültüre alınan türlerde özellikle azot içerikli gübrelerin askorbik asit miktarını azaltmasıyla ilgili olduğu söylenebilir (Gülyüz ve ark., 1995). Son yıllarda yabani meyvelere olan ilgi artmakla birlikte antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antikanser gibi biyoaktif etkileri üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır (Li ve ark., 2016). Bayburt'ta *Berberis* L. türleri üzerine yapılan bir araştırmada *Berberis vulgaris* L., *B. crataegina* DC. ve *B. integerrima* Bunge türlerinin kimyasal içerikleri ve antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın neticesinde Bayburt'taki *Berberis* meyvelerinin zengin kimyasal içeriğe ve güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Gıdık, 2021). Bayburt'ta yetişen tanınmış yabani bir meyve olan yabani elma (*Malus sylvestris* subsp. *orientalis* var. *orientalis*) ise yine zengin kimyasal içerikleri sebebiyle üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Gıdık ve ark., 2019; Arslaner ve Salık, 2020; Çakır ve Ergen, 2021; Kadioğlu ve ark., 2021). Güldemir ve ark., (2020)'nın yaptığı çalışmada yabani elma meyvelerinin taze ya da kurutulmuş olarak biręok farklı gıda sektöründe kullanılabileceği ve bu şekilde ekonomik bir ürün haline dönüştürülebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma ile Bayburt'un 54 yabani meyvesine ilişkin bir floristik listenin oluşturulması amaçlanmıştır. Böylece bu araştırma, Bayburt'ta yabani meyveler ile ilgili yapılacak çalışmalarda yörede yetişen türlerin tanımlanması için bir rehber niteliğinde olacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 2019-2021 yılları arasında Bayburt ilinde 7-8 aylık çiçek ve olgun meyve örnekleri için arazi çalışmaları yapılmıştır. Alan içerisinde doğal olarak yetişen yaklaşık 150 çiçekli ve meyveli odunsu bitki örnekleri toplanmıştır. Bu örnekler doğal ortamlarında fotoğraflanıp (Canon EOS 60D), lokalite ve habitat bilgileri kaydedilmiştir. Örneklerin ilgili literatürler ışığında teşhisleri yapılmıştır (Davis, 1965-1985; Davis ve ark., 1988; Dönmez ve Yıldırım, 2000; Güner ve ark., 2000; Dönmez, 2004). Türkiye Florası için yeni kayıt olarak eklenen türler için de literatür incelemesi gerçekleştirilmiştir (Fırat, 2018). Nadir ve endemik türler belirlenip tehlike kategorilerine (IUCN, 2012-2019) göre ulusal ve küresel ölçekte tehdit durumları belirlenmiştir. Floristik liste oluşturulurken Türkçe ve en güncel Latince bitki isimlerini belirlemek amacıyla "Türkiye Bitkileri listesi-Damarlı Bitkiler" (Güner ve ark., 2012) eseri, The Plant List (2010) ve International Plant Name Index (2008) internet sitelerinden yararlanılmıştır. Endemik bitkilerin listesi oluşturulurken tehlike kategorilerinin belirlenmesinde "International Union for Conservation of Nature" (IUCN, 2012-2019) kriterlerinden yararlanılmıştır. Herbarium materyali haline getirilen bitkiler Bayburt Üniversitesi Eğitim Fakültesi

Fen Laboratuvarı'nda muhafaza edilmektedir. Floristik listede yer kaplamaması için yer adları verilirken; Kop Dağı için “Kop D.”, Kopuz Köprüsü için “Kopuz K.”, Yanıkçam köyü için “Yanıkçam”, Gökçedere beldesi için “Gökçedere”, Günbuldu yaylası için, “Günbuldu”, Derebaşı Virajları için “Derebaşı”, Yenişehir Parkı için “Yeni. P.”, Bahtlı Dağ için “Bahtlı”, Baksı köyü için “Baksı”, Çatıksu köyü için “Çatıksu”, Maden Vadisi için “Mad. V.”, Beşpınar köyü için “Beşpınar” ve Eşkuya Boğazı için “Eşkuya B.” kısaltmaları kullanılmıştır.

Araştırma alanında yabancı meyve veren bitkilerin tespit edilmesinin yanı sıra meyve çekirdekleri içeren hayvan dışkıları incelenerek, içerisindeki meyve tohumlarının hangi bitkiye ait olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda bu dışkıların uzman kişilerin görüşü ışığında hangi hayvana ait olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle hangi meyvelerin hayvanlar yardımıyla dağıldığı ile ilgili ön bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. Bunlara ek olarak Bayburt şehir merkezinde kurulan pazarda hangi yabancı meyvelerin satıldığı da rapor edilmiştir. Bu bağlamda hangi yabancı meyvelerde insan etkisinin olabileceği de belirlenmeye çalışılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada elde edilen bulgular floristik, etnobotanik ve ekolojik bulgular olmak üzere üç başlıkta incelenecektir.

Floristik Bulgular

Bu kısımda alan içerisinde tespit edilen taksonların listesi, fitocoğrafik dağılımları, endemik taksonlar ve tehlike kategorileri ve Bayburt için yeni kayıt olarak belirlenen taksonların listesi yer almaktadır. Alan içerisinde tespit edilen taksonlara ait floristik liste Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 2, 3, 4’te bu meyvelerin bazılarının görsellerine yer verilmiştir.

Tablo 1. Alan içerisinde tespit edilen taksonlara ait floristik liste

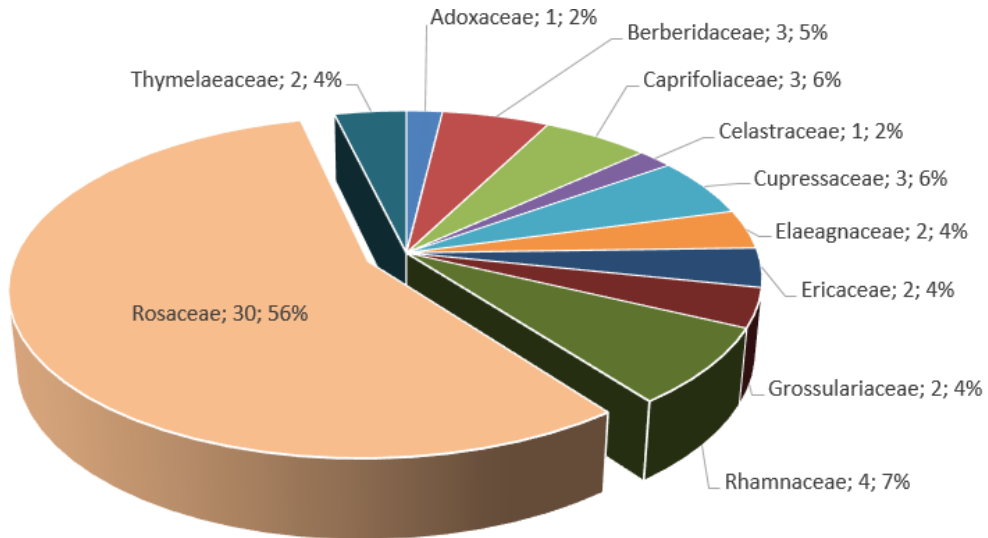
| Familiya adı | Türün bilimsel adı | Türkçe adı | Lokasyon |
|---------------------|---|-------------------|-----------------|
| Adoxaceae | <i>Viburnum lantana</i> L.* | Germeşe | Kop D. |
| Berberidaceae | <i>Berberis crataegina</i> DC. | Karamuk | Kopuz K. |
| Berberidaceae | <i>B.integerrima</i> Bunge | Sarıçalı | Kopuz K. |
| Berberidaceae | <i>B. vulgaris</i> L. | Kızılkaramuk | Kop D. |
| Caprifoliaceae | <i>Lonicera caucasica</i> Pall. | Çakkana | Kop D. |
| Caprifoliaceae | <i>L. iberica</i> M.Bieb. | Dadaşhanımeli | Yanıkçam |
| Caprifoliaceae | <i>L. orientalis</i> Lam. | Hasçakkana | Gökçedere |
| Celastraceae | <i>Euonymus latifolius</i> Mill. subsp. <i>latifolius</i> | İğağacı | Gökçedere |
| Cupressaceae | <i>Juniperus communis</i> L. var. <i>saxatilis</i> Pall. | Bodurardıç | Kop D. |
| Cupressaceae | <i>J. foetidissima</i> Willd. | Kokarardıç | Yanıkçam |

| | | | |
|-----------------|--|--------------|------------|
| Cupressaceae | <i>J. oxycedrus</i> L. subsp. <i>Oxycedrus</i> | Katranardıcı | Yanıkçam |
| Elaeagnaceae | <i>Elaeagnus angustifolia</i> L var. <i>angustifolia</i> | İğde | Yanıkçam |
| Elaeagnaceae | <i>E. rhamnoides</i> (L.) A.Nelson | Çıçırgan | Kopuz K. |
| Ericaceae | <i>Vaccinium myrtillus</i> L. | Ayıüzümü | Günbuldu |
| Ericaceae | <i>V. uliginosum</i> L. | Avcıüzümü | Derebaşı |
| Grossulariaceae | <i>Ribes aureum</i> Pursh | Frenküzümü | Yeni. P. |
| Grossulariaceae | <i>R. orientale</i> Desf. | Çeçem | Bahtlı |
| Rhamnaceae | <i>Frangula dodonei</i> Ard. subsp. <i>dodonei</i> | Barutağacı | Baksı yolu |
| Rhamnaceae | <i>Rhamnus cathartica</i> L. | Akdiken | Kopuz K. |
| Rhamnaceae | <i>R. microcarpa</i> Boiss. | Kayacehrisi | Çatıksu |
| Rhamnaceae | <i>R. pallasii</i> Fisch. & C.A.Mey. | Alacehri | Baksı yolu |
| Rosaceae | <i>Amelanchier ovalis</i> Medik. subsp. <i>integrifolia</i> (Boiss. & Hohen.) Bornm. | Tüylükaragöz | Çatıksu |
| Rosaceae | <i>Cerasus angustifolia</i> (Spach) Browicz var. <i>sintenisii</i> (C.K.Schneid.) Browicz | - | Maden V. |
| Rosaceae | <i>C. mahaleb</i> (L.) Mill. var. <i>mahaleb</i> | Mahlep | Eşkıya B. |
| Rosaceae | <i>C. vulgaris</i> Mill. | Vişne | Yeni. P. |
| Rosaceae | <i>Cotoneaster integerrimus</i> L. | Garagat | Çatıksu |
| Rosaceae | <i>C. nummularius</i> Fisch. & C.A.Mey. | Dağmuşmulası | Günbuldu |
| Rosaceae | <i>Crataegus × bornmuelleri</i> Zabel ex K.I.Chr. & Ziel.* | Kızlaryemişi | Beşpınar |
| Rosaceae | <i>C. monogyna</i> Jacq. var. <i>monogyna</i> | Yemişen | Maden V. |
| Rosaceae | <i>C. orientalis</i> Pall. ex M.Bieb. subsp. <i>orientalis</i> * | Alıç | Kopuz K. |
| Rosaceae | <i>C. orientalis</i> Pall. ex M.Bieb. subsp. <i>szovitsii</i> (Pojark.) K.I.Chr. | Koyunalıcı | MadenV. |
| Rosaceae | <i>C. pentagyna</i> Waldst. & Kit. ex Willd. | Kömüşdiken | Aslandağı |
| Rosaceae | <i>C. tanacetifolia</i> (Poir.) Pers. | Kotanalıcı | Beşpınar |
| Rosaceae | <i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill. subsp. <i>orientalis</i> (Uglitzk.) Browic var. <i>orientalis</i> * | Acıelma | Kopuz K. |
| Rosaceae | <i>Prunus divaricata</i> Ledeb. var. <i>divaricata</i> * | Yunuseriği | Bahtlı |
| Rosaceae | <i>P. spinosa</i> L.* | Çakaleriği | Aslandağı |
| Rosaceae | <i>Pyrus elaeagnifolia</i> Pall. subsp. <i>kotschyana</i> (Boiss.) B.* | Dağarmudu | Kop D. |
| Rosaceae | <i>Rosa boissieri</i> Crép.* | Hasgül | Baksı yolu |
| Rosaceae | <i>R. foetida</i> J.Herrm. | Acemsarısı | Baksı yolu |
| Rosaceae | <i>R. gallica</i> L. | Hokkagülü | Kop D. |
| Rosaceae | <i>R. mollis</i> Sm. | Cazıgülü | Kop D. |

| | | | |
|---------------|--|----------------|----------|
| Rosaceae | <i>R. pisiformis</i> (Christ) Sosn. | Algül | Kopuz K. |
| Rosaceae | <i>R. pulverulenta</i> M.Bieb. | Bodurgül | Bahtlı |
| Rosaceae | <i>R. spinosissima</i> L. | Karakuşburnu | Kop D. |
| Rosaceae | <i>Rubus canescens</i> DC. var. <i>canescens</i> | Çobankösteği | Çatıksu |
| Rosaceae | <i>R. caucasicus</i> Focke | Zarifböğürtlen | Derebaşı |
| Rosaceae | <i>R. idaeus</i> L. subsp. <i>idaeus</i> | Ahududu | Derebaşı |
| Rosaceae | <i>R. saxatilis</i> L. | Köslek | Derebaşı |
| Rosaceae | <i>Sorbus aucuparia</i> L. | Kuşüvezi | Derebaşı |
| Rosaceae | <i>S. kusnetzovii</i> Zinserl. | Ufa | Derebaşı |
| Rosaceae | <i>S. subfusca</i> Boiss. | Yaylaüvesi | Derebaşı |
| Thymelaeaceae | <i>Daphne glomerata</i> Lam. | Ezentere | Derebaşı |
| Thymelaeaceae | <i>D. oleoides</i> Schreb. subsp. <i>kurdica</i> (Bornm.) Bornm. | Mundarca | Günbuldu |
| Thymelaeaceae | <i>D. oleoides</i> Schreb. subsp. <i>oleoides</i> | Gövçek | Derebaşı |

* Pazarda satılan yabancı meyveler; [†]Yabancı hayvanların tercih ettiği meyveler.

Floristik liste incelendiğinde alan içerisinde 11 Familya, 20 cins ve 54 takson tespit edilmiştir. Alan içerisinde en fazla takson sayısına sahip familya, 30 takson ile Rosaceae (%56) olmuştur. Bu familyayı 4 takson ile Rhamnaceae (%7) takip etmektedir. Geriye kalan 20 takson ise diğer 9 familya arasında birkaç türle dağılım göstermektedir (Şekil 1). Alan içerisinde Rosaceae familyasının en fazla takson bulundurmasının nedeni Türkiye'deki büyük familyalar arasında yer alması olabilir. Türkiye Bitkileri Listesine göre ülkemizde Rosaceae familyası 36 cins ve 350 takson ile temsil edilmektedir (Güner ve ark., 2012). Bu familya başta Karadeniz bölgesi olmak üzere ülkenin tüm bölgelerinde yayılış göstermektedir (Yıldız ve Aktoklu, 2010).



Şekil 1. Alan içerisinde tespit edilen taksonların familyalara göre oranları ve sayıları



Şekil 2. Alan içerisinde tespit edilen taksonlara ait meyve fotoğrafları: 1. *Amelanchier ovalis* subsp. *integrifolia*, 2. *Cotoneaster integerrimus*, 3. *C. nummularius*, 4-5. *Rosa pisiformis*, 5-6. *R. spinosissima*, 8-9. *R. pulverulenta*, 10. *Cerasus angustifolia* var. *sintenisii*, 11. *C. mahaleb* var. *mahaleb*, 12. *C. vulgaris*, 13. *Pyrus elaeagnifolia* subsp. *kotschyana*, 14. *Prunus divaricata* var. *divaricata*, 15. *Crataegus tanacetifolia*, 16. *C. × bornmuelleri*, 10. *C. orientalis* subsp. *orientalis*, 11. *C. orientalis* subsp. *szovitsii*, 12. *C. monogyna* var. *monogyna* ve 13. *C. pentagyna*



Şekil 3: Alan içerisinde tespit edilen taksonlara ait meyve fotoğrafları: 1-2. *Rubus idaeus* subsp. *idaeus*, 3. *R. canescens* var. *canescens*, 4. *Sorbus subfusca*, 5. *S. kusnetzovii*, 6. *S. aucuparia*, 7. *Berberis crataegina*, 8. *B. integerrima* ve 9. *B. vulgaris*, 9. *Ribes orientale*, 11. *Viburnum lantana*



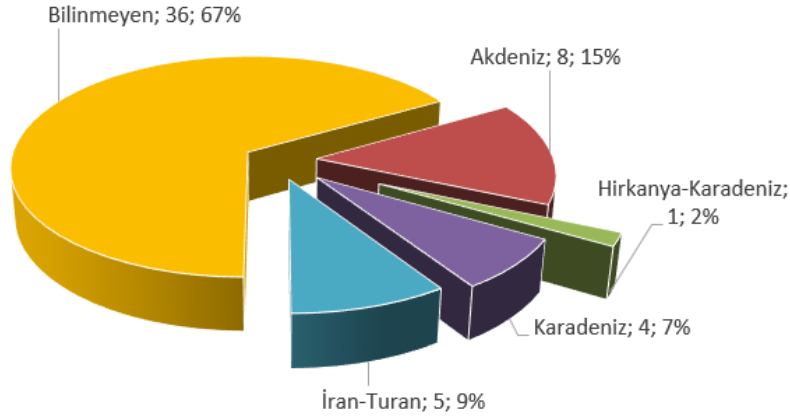
Şekil 4. Alan içerisinde tespit edilen taksonlara ait meyve fotoğrafları: 1. *Rhamnus microcarpa*, 2. *R. pallasii*, 3. *R. cathartica*, 4. *Frangula dodonei* subsp. *dodonei*, 5. *Euonymus latifolius* subsp. *latifolius*, 6. *Elaeagnus rhamnoides*, 7. *Vaccinium myrtilus*, 8-9. *Lonicera orientalis* ve 8. *L. iberica*.

Alan içerisinde fitocoğrafik bölgesi bilinen taksonlar Tablo 2’de verilerek bu taksonlardan 8’i Akdeniz, 5’i İran-Turan, 4’ü Karadeniz ve 1’i ise Hirkanya-Karadeniz fitocoğrafik bölge elementi olarak tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 5). Yine Tablo 2 incelendiğinde fitocoğrafik bölgesi bilinen 18 taksondan 11’i Rosaceae familyasına, 2’si Rhamnaceae ve Thymelaeaceae familyalarına, 1’er takson ise Caprifoliaceae, Celastraceae ve Ericaceae familyalarına aittir.

Tablo 2. Fitocoğrafik bölgesi bilinen taksonlara ait liste

| Familya adı | Türün bilimsel adı | Türkçe adı | Fitocoğrafik Bölgesi |
|--------------------|---|-------------------|-----------------------------|
| Caprifoliaceae | <i>Lonicera iberica</i> | Dadaşhanımeli | Hirkanya-Karadeniz |
| Celastraceae | <i>Euonymus latifolius</i> subsp. <i>latifolius</i> | İğaçacı | Akdeniz |
| Ericaceae | <i>Vaccinium myrtillus</i> | Ayüzümü | Akdeniz |
| Rhamnaceae | <i>Rhamnus cathartica</i> | Akdiken | Akdeniz |
| Rhamnaceae | <i>R. microcarpa</i> | Kayacehrisi | Karadeniz |
| Rosaceae | <i>Cerasus angustifolia</i> var. <i>sintenisii</i> | - | İran-Turan |
| Rosaceae | <i>Crataegus orientalis</i> subsp. <i>szovitsii</i> | Koyunalıcı | İran-Turan |
| Rosaceae | <i>C. pentagyna</i> | Kömüşdikeni | Akdeniz |
| Rosaceae | <i>Prunus spinosa</i> | Çakaleriği | Akdeniz |
| Rosaceae | <i>Rosa foetida</i> | Acemsarısı | İran-Turan |
| Rosaceae | <i>R. pisiformis</i> | Algül | İran-Turan |
| Rosaceae | <i>R. spinosissima</i> | Karakuşburnu | Akdeniz |
| Rosaceae | <i>Rubus caucasicus</i> | Zarifböğürtlen | Karadeniz |
| Rosaceae | <i>R. idaeus</i> subsp. <i>idaeus</i> | Ahududu | Akdeniz |
| Rosaceae | <i>Sorbus aucuparia</i> | Kuşüvezi | Akdeniz |
| Rosaceae | <i>S. subfusca</i> | Yaylaüvesi | Karadeniz |
| Thymelaeaceae | <i>Daphne glomerata</i> | Ezentere | Karadeniz |
| Thymelaeaceae | <i>D. oleoides</i> subsp. <i>kurdica</i> | Mundarca | İran-Turan |

Tespit edilen tüm taksonlar fitocoğrafik bölge elementi açısından incelendiğinde ise %67'sinin (36 takson) fitocoğrafik elementinin bilinmediği veya birden fazla bölgeye ait olduğu görülmektedir. Geriye kalan %15'inin Akdeniz, %9'unun İran-Turan, %7'sinin Karadeniz ve % 1'inin ise Hirkanya-Karadeniz fitocoğrafik bölge elementi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Alan içerisindeki 36 taksonun fitocoğrafik bölgesinin bilinmiyor olmasının nedeni, bu yabani meyve tohumlarının hayvanlar tarafından taşınarak farklı bölgelere yayılmasını sağlamış olmaları muhtemeldir. Nihayetinde hayvanların etli meyveleri tercih etmeleri dolayısıyla tohumların yayılmasında çok fazla etkisi olmaktadır (Stiles, 2000; Williams ve ark., 2000; Shiels, 2011).



Şekil 5. Alan içerisinde tespit edilen taksonların fitocoğrafik bölgelere göre dağılımı

Bayburt'ta tespit edilen meyveli bitkiler içerisinde dört taksonun endemik olduğu belirlenmiştir. Bu endemik taksonlar ve tehlike kategorileri Tablo 3'te verilmiştir. Bu türler tehlike kategorilerine bakıldığında ikisinin LR(lc) yani az endişe verici, birinin LR(nt) yani tehdiye yakın ve birinin ise belirlenmediği görülmektedir. Şimdiki çalışma ile bu türlerin yayılış alanları ve popülasyon durumları göz önünde bulundurulduğunda *Lonicera orientalis*'in, Güney Marmara, Batı Karadeniz, Karadeniz Bölgesi, İç Batı Anadolu, Orta Kızılırmak, Konya bölümü, Yukarı Fırat, Yukarı Murat-Van, Antalya ve Adana bölümünde geniş bir yayılışa sahiptir (Bizim Bitkiler, 2022). *L. orientalis*'in tehlike kategorisi Extent of Occurrence (EOO) 560,384.580 km² LC, Area of Occupancy (AOO) 160.000 km² EN olarak tespit edilmiştir. *Crataegus × bornmuelleri* için Batı Karadeniz ve Yukarı Sakarya bölümünde yayılış gösterdiği görülmektedir. Şimdiki araştırma ile Doğu Karadeniz bölümünde de yayılış olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin yayılış göz önünde bulundurulunca EOO 59,718.695 km² LC, AOO 16.000 km² EN olduğu görülmektedir (GeoCAT, 2022). *C. tanacetifolia* Karadeniz Bölgesi, Yukarı Sakarya, Orta Kızılırmak ve Yukarı Fırat Bölümlerinde yayılış göstermekte (Bizim Bitkiler, 2022) olup EOO 176,776.784 km² LC, AOO 76.000 km² EN belirlenmiştir (GeoCAT, 2022). Bir diğer endemik bitki olan *Rosa pisiformis* bakıldığında ise Doğu Karadeniz, Yukarı Fırat, Erzurum-Kars ve Yukarı Murat-Van bölümlerinde yayılış göstermektedir. Bitkinin tehlike kategorisine bakıldığında ise EOO 125,207.989 km² LC, AOO 60.000 km² EN olarak belirlenmiştir (GeoCAT, 2022). Bu dört endemik bitkinin genel yayılışları ve popülasyon sayıları tahmini olarak incelendiğinde LC kategorisi daha uygun olacaktır.

Tablo 3. Alan içerisinde tespit edilen endemik taksonlar ve IUCN kategorileri

| Türün bilimsel adı | Türkçe adı | IUCN kategorisi | |
|---------------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | | Ekim vd., 2000 | Sefalı, 2022 |
| <i>Lonicera orientalis</i> | Haşçakkana | LR(lc) | LC |
| <i>Crataegus × bornmuelleri</i> | Kızlaryemişi | - | LC |
| <i>C. tanacetifolia</i> | Kotanalıcı | LR(lc) | LC |
| <i>Rosa pisiformis</i> | Algül | LR(nt) | LC |

Ülkemizde doğal olarak yetişen 11.000'den fazla bitki taksonu bulunmakta ve bunların yaklaşık 3649'u (%33) endemik yani ülkemize özgüdür (Güner ve ark., 2012). Türkiye'nin bitki çeşitliliği ve endemizm oranına bakılacak olursa bu çalışmada elde edilmiş endemizm oranı düşük bulunmuştur. Endemik taksonların oranının alan içerisinde düşük olması (%7,4) yine yabancı meyve tohumlarının hayvanlar tarafından yayılmasıyla ilişkili olabilir.

Yapılan bu çalışma ile 8 taksonun Bayburt için yeni kayıt olduğu belirlenmiştir. Bu 8 taksondan 5'i Rosaceae familyasına aittir (Tablo 4). Bu durum Rosaceae familyasının ülkemizde çok fazla üye ile temsil edilmesiyle açıklanabilir. Yıldız ve Aktoklu (2010) yaptıkları çalışma ile bu familyanın en fazla Karadeniz Bölgesi'nde yoğunlaştığını belirtmiştir.

Tablo 4. Bayburt için yeni kayıt olarak tespit edilen taksonlar

| Familya adı | Türün bilimsel adı | Türkçe adı |
|-----------------|--|------------|
| Elaeagnaceae | <i>Elaeagnus angustifolia</i> var. <i>angustifolia</i> | İğde |
| Grossulariaceae | <i>Ribes aureum</i> | |
| Rosaceae | <i>Cerasus mahaleb</i> var. <i>mahaleb</i> | Mahlep |
| Rosaceae | <i>Crataegus tanacetifolia</i> | Kotanalıcı |
| Rosaceae | <i>Prunus spinosa</i> | Çakaleriği |
| Rosaceae | <i>Rosa gallica</i> | Hokkagülü |
| Rosaceae | <i>Sorbus kusnetzovii</i> | Ufa |
| Thymelaeaceae | <i>Daphne oleoides</i> subsp. <i>oleoides</i> | Gövçek |

Etnobotanik Bulgular

Yabancı meyveler gıda amaçlı kullanılabilmesi gibi tıbbi (diyabet, tansiyon gibi) amaçlı da kullanılmaktadır. Örneğin, Balıkesir'de yabancı meyveler ve tıbbi kullanımları ile ilgili bir çalışmada 52 taksona yer verilmiştir (Duran ve ark., 2001). Bayburt'ta tespit edilen taksonlardan alıç (*Crataegus × bornmuelleri*, *C. orientalis* subsp. *orientalis* ve *C. tanacetifolia*), elma (*Malus sylvestris* subsp. *orientalis* var. *orientalis*), armut (*Pyrus elaeagnifolia* subsp. *kotschyana*), yunuseriği (*Prunus divaricata* var. *divaricata*), çakal eriği (*P. spinosa*) ve kuşburnu (*Rosa* ssp.) türleri Bayburt şehir

pazarında satılmaktadır. Yerel halk alanda bulunan yabani meyve çeşidinin yaklaşık % 20 kadarını gıda ve tıbbi amaçlı olarak tüketmektedir. Satıcılardan alınan bilgiye göre, halk bu meyveleri, turşu (elma ve armut), sirke (alıç) reçel, hoşaf ya da çay (kuşburnu) yapmak suretiyle gıda amaçlı kullanılmaktadır. Bazı durumlarda yabani elma sirkesinin şeker hastalarına önerildiği belirlenmiştir (Şekil 6). Gümüşhane’de yapılan bir çalışmada *Berberis vulgaris*, *Vaccinium myrtillus* ve *Crataegus orientalis* subsp. *orientalis* bitkileri halk tarafından gıda ve tıbbi amaçlı kullanılmaktadır (Zengin, 2020).



Şekil 6. Pazar yerinde satılan bazı yabani meyveler (soldan sağa doğru), yabani armut, ekşi elma ve kuşburnu

Ekolojik Bulgular

Bayburt'ta yabani meyve veren bitkilerin dağlık ve derin vadilerde yetiştiği görülmektedir. Bu alanlar yaban hayvanları için elverişlidir. Alanda bulunan boz ayı (*Ursus arctos*) ve kaya sansarı (*Martes foina*)'nın yabani meyve ağaçlarının yakınında dışkıları tespit edilmiştir. Özellikle yabani meyvelerden *Viburnum lantana*, *Prunus divaricata* var. *divaricata* meyvelerinin boz ayı tarafından sıklıkla tüketildiği görülmüştür. Benzer şekilde *Rosa* türlerinin ise kaya sansarı tarafından tüketildiği rapor edilmiştir (Şekil 7). Ülkemizde ve diğer ülkelerde bu memeli türlerinin adı geçen yabani meyveler ile beslendiklerini gösteren çalışmalar mevcuttur (Smythe, 1986; Herrera, 1989; Feldhamer ve ark., 2003; Ambarlı, 2006; Cabezas-Díaz ve ark., 2010; Papakosta ve ark., 2014). Çalışma alanı içerisinde muhtemel farklı canlılarında bu meyveleri tükettikleri düşünülürse, tohumların birçok alana dağılması kaçınılmazdır. Bu durum Bayburt'taki taksonlara ait endemizm oranının düşüklüğünü ve fitocoğrafik bölgesi bilinmeyenlerin oranının yüksekliğini açıklayabilir.



Şekil 7. Alan içerisinde tespit edilen hayvan dışkıları, a. Boz ayı (*Ursus arctos*) ve b. Kaya sansarı (*Martes foina*)

4. Sonuç

Sonuç olarak; alan içerisinde 11 familyanın 20 cinsine ait 54 odunsu, etli, yabani meyve bulunduran takson tespit edilmiştir. Bir alanda yetişen yabani meyvelerin ekolojik ve ekonomik önemi bulunmaktadır. Yabani meyveler, en büyük kara hayvanlarından en küçüğüne kadar, etli, sulu ve genellikle lezzetli olmaları sebebiyle tüketilmektedir. Hareket halindeki hayvanlar tükettikleri bu meyvelerin tohumlarını farklı bölgelere saçmaktadırlar. Bu durum alandaki yaygın türlerin (fitocoğrafik bölgesi bilinmeyen) fazla oluşunu (%67) ve endemizm oranının düşük oluşunu (%7,4) açıklayabilir. Bayburt'ta yerel halk bu yabani meyve çeşitliliğinin %20 kadarını gıda veya tıbbi amaçlı tüketmektedir. Yaklaşık 40 taksonun ise pazaryerinde tüketimi bulunmamaktadır. Bu durum ise yabani meyvelerin yeterince tanınmaması (Li ve ark., 2016) kanısını güçlendirmektedir.

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.

Teşekkür

Hayvan dışkılarının teşhisinde yardımcı olan biyolog Adem Adakul'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Ambarlı H. Analyses of human-bear conflict in Yusufeli, Artvin, Turkey. Middle East Technical University Department of Biology, Master's Thesis, sayfa no:109, Ankara, Türkiye; 2006.
- Arınç K. Türkiye'nin kıyı bölgeleri. Biyosfer Araştırmaları Merkezi. Coğrafya Araştırmaları Serisi No:102, Eser Ofset Matbaacılık, Erzurum; 2011.
- Arslaner A., Salık MA. Geleneksel yabani meyve marmelatlarının bazı kalite nitelikleri, mineral ve ağır metal kompozisyonu. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 8(3): 678-687.
- Birinci S. Bayburt ilinin coğrafyası: Fiziki-beşeri-ekonomik. Bayproje Yayın, Ankara; 2015.
- Bizim Bitkiler® Version 3.1. Published on the Internet; <http://bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=4631> (accessed 6th June), 2022.
- Cabezas-Díaz S., Virgós E., Lozano J., Mangas J. Spatial distribution models in a frugivorous carnivore, the stone marten (*Martes foina*): is the fleshy-fruit availability a useful predictor?. Animal Biology 2010; 60(4): 423-436.
- Çakır Ö., Ergen B. Assessment of wild *R. pimpinellifolia* L. according to mineral content and bioactive compounds. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 25: 644-649.
- Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, 1-9. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press; 1965-1985.

- Davis PH., Miller RR., Tan K. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, 10. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 1988.
- Demir H. Bazı yabancı meyve türlerinin besin değerlerinin belirlenmesi üzerinde bir araştırma. Bahçe 2002; 31(1).
- Demir İ. An ethnobotanical study of medicinal plants used in Hizan district (Bitlis-Turkey). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi 2020; 30(4): 732-741.
- Dönmez AA., Yıldırım Ş. Taxonomy of the genus *Prunus* L. (Rosaceae) in Turkey. Turkish Journal of Botany 2000; 24(3): 187-202.
- Dönmez AA. The genus *Crataegus* L. (Rosaceae) with special reference to hybridisation and biodiversity in Turkey. Turkish Journal of Botany 2004; 28(1-2): 29-37.
- Duran A., Satıl F., Tümen G. Balıkesir yöresinde yenen yabancı meyveler ve etnobotanik özellikleri. Ot Sistematik Dergisi 2001; 8(1): 87-94.
- Feldhamer GA., Thompson BC., Chapman JA. Wild mammals of North America: biology, management, and conservation. USA: Johns Hopkins University Press 2003.
- Fırat M. *Ribes aureum* Pursh (Grossulariaceae); a new record for the flora of Turkey. Eurasian Journal of Forest Science 2018; 6(4): 26-31.
- GeoCAT. <http://geocat.kew.org/> (accessed 6th June, 2022).
- Gıdık B. Antioxidant, antimicrobial activities and fatty acid compositions of wild *Berberis* spp. by different techniques combined with chemometrics (PCA and HCA). Molecules 2021; 26(24): 7448.
- Gıdık B., Akar Z., Can Z., Sefalı A., Ertürk O. Determination of antioxidant, antimicrobial activities, phenolic compounds of wild *Rosa* L. species Bayburt, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin 2019; 28: 9973-9982.
- Güldemir K., Çakır Ö., Çakıroğlu K. Yabancı-Ekşi elmanın (*Malus sylvestris* Miller) antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriği üzerine farklı kurutma yöntemlerinin etkisi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 32(1): 279-285.
- Güleryüz M., Pırlak L., Aslantaş R. Bazı Yabancı Meyve Türlerinin Besin İçeriği. Besin Kongresi, Cilt 1 (Meyve) 1995; 287-291.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (edlr.). Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler). İstanbul, Türkiye: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını; 2012.
- Güner A., Karabacak E., Çingay B., Güneş F., Eker İ., Öztekin M., Keskin M., Körüklü T. Resimli Türkiye Florası. Cilt 1. İstanbul, Türkiye: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi 2014.
- Güner A., Özhatay N., Ekim T. Başer KHC. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, 11. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press; 2000.
- Gür H. Anadolu Diyagonalı: Bir biyocoğrafi sınırın anatomisi. Kebikec: İnsan Bilimleri İçin Kaynak Araştırmalı Dergisi 2017; (43).

- Gür H. The Anatolian diagonal revisited: testing the ecological basis of a biogeographic boundary. *Zoology in the Middle East* 2016; 62: 189-199.
- Herrera CM. Frugivory and seed dispersal by carnivorous mammals, and associated fruit characteristics, in undisturbed Mediterranean habitats. *Oikos* 1989; 250-262.
- IUCN. Standards and Petitions Committee. Guidelines for using the IUCN Red List categories and criteria (Version 14); 2019.
- IUCN. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition, Gland, Switzerland and Cambridge, UK; 2012.
- Kadioğlu S., Kadioğlu B., Sezer KK. Ethnobotanical properties of natural plant in Kop Pass (Bayburt/Turkey). *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma* 2021; 14(2): 264-276.
- Li Y., Zhang JJ., Xu DP., Zhou T., Zhou Y., Li S., Li HB. Bioactivities and health benefits of wild fruits. *International Journal of Molecular Sciences* 2016; 17(8): 1258.
- Papakosta M., Kitikidou K., Bakaloudis D., Vlachos C. Dietary variation of the stone marten (*Martes foina*): A meta-analysis approach. *Wildlife Biology in Practice* 2014; 10(2): 85-101.
- Satıl F., Tümen G., Dirmenci T., Çelik A., Yılmaz ARI., Malyer H. Kazdağı Milli Parkı ve çevresinde Balıkesir etnobotanik envanter çalışması 2004-2006. *Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi* 2007; (5): 171-199.
- Shiels AB. Frugivory by introduced black rats (*Rattus rattus*) promotes dispersal of invasive plant seeds. *Biological Invasions* 2011; 13(3): 781-792.
- Smythe N. Competition and resource partitioning in the guild of Neotropical terrestrial frugivorous mammals. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 1986; 17: 169-188.
- Stiles EW. Animals as seed dispersers. *Seeds. The Ecology of Regeneration in Plant Communities* 2000; 2: 111-124.
- The International Plant Names Index (IPNI). 2008. <http://www.ipni.org>, (erişim tarihi: 20.02.2022).
- The Plant List. 2010. <http://www.theplantlist.org>, (erişim tarihi: 20.02.2022).
- Williams PA., Karl BJ., Bannister, P., Lee WG. Small mammals as potential seed dispersers in New Zealand. *Austral Ecology* 2000; 25(5): 523-532.
- Yıldız B., Aktoklu E. Bitki sistematigi ilkel karsal bitkilerden bir çeneklilere. Ankara, Türkiye: Palme Yayıncılık; 2010.
- Zengin Z. Gümüşhane yöresinde etnobotanik bir çalışma. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa no: 139, Trabzon, Türkiye, 2020.

Sıcaklık Değişkenliğinin Afritlerin Yaşam Döngüsüne Etkileri: Dört Örnek Tür

Gazi GÖRÜR^{1*}, Gizem BAŞER², Hayal AKYILDIRIM BEĞEN³, Özhan ŞENOL⁴, Başak AKYÜREK⁵

^{1,2,4}Niğde Ömer Halisdemir University, Science and Art Faculty, Department of Biotechnology, 51000, Niğde

³Artvin Coruh University, Health Services, Vocational School, 08000, Artvin

⁵Amasya University, Amasya Technical Sciences, Vocational School, 05000, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0001-5713-418X>

²<https://orcid.org/0000-0002-4588-786X>

³<https://orcid.org/0000-0003-2028-5827>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-7747-0866>

⁵<https://orcid.org/0000-0001-7317-9193>

*Sorumlu yazar: gaziyorur@yahoo.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.03.2022

Kabul tarihi: 23.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Afit

Artvin

Niğde

Küresel Isınma

ÖZ

Küresel ısınma hayvan türlerinin çoğu dâhil bütün organizmaları, özellikle afritleri büyük oranda etkileme potansiyeline sahiptir. Dört afit türü, *Cinara cedri*, *Cinara tujaefilina*, *Metopolophium dirhodum*, *Pterochloroides persicae*, soğuk ve kurak bölgelerde yaygın olarak varolanın aksine kış mevsiminde Niğde ve Artvin illerinde partenogenetik nesillerini devam ettirmiştir. Belirlenen türlerin Niğde ve Artvin koşullarında holosiklik yaşam döngüsü göstermeleri nedeniyle kış sezonunu yumurta halinde geçirmeleri gerektiği değerlendirilmiştir. Kış aylarının ortalama sıcaklık değerlerinde son iki yılda meydana gelen sıcaklık değişkenliklerin etkisiyle bu değişkenliklerin etkisinin göstergesi olarak daha fazla partenogenetik nesil vermelerine imkân vermiştir. Elde edilen bulgular sıcaklık artışının afritlerde daha fazla nesil vermeleri ve bu nedenle ciddi zararlı olacakları genel yaklaşımla uyumluluk göstermiştir.

Effects of Temperature Fluctuations on Aphids Life Cycle: Four Case Species

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2022

Accepted: 23.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Aphid

Artvin

Niğde

Global warming

ABSTRACT

Global warming has great potential to influence all organisms including many animal species, in particular aphids. It has been shown that four aphid species, *Cinara cedri*, *Cinara tujaefilina*, *Metopolophium dirhodum*, *Pterochloroides persicae*, maintained their parthenogenetic generations in Niğde and Artvin Provinces during the winter season in contrast to common life cycles related with cooler and dry conditions. It has been considered that determined aphid species should spend winter season as an overwintering egg as these species mainly show holocyclic life cycles in Niğde and Artvin. Fluctuations in winter average temperature in Niğde and Artvin during last two years enable them to produce more parthenogenetic generations as an indicator of the influences of the temperature fluctuations. These findings are in coincidence with the general approaches that increase in temperature most probably result in more generations in aphid species and in turn let these species to become a severe pest.

To Cite: Görür G., Başer G., Akyıldırım Beğen H., Şenol Ö., Akyürek B. Sıcaklık Değişkenliğinin Afritlerin Yaşam Döngüsüne Etkileri: Dört Örnek Tür. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 68-77.

1.Introduction

Climate changes including fluctuations and increase in temperature have been one of the most important ecological effects in recent years for all living organisms. The ten warmest years existed on earth for January–December in the 1880–2021 meteorological record are 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021 respectively. The average global land and ocean surface temperature for January–December 2021 was 0.84°C above the 20th century average of 13.9°C. Moreover, there is also increase in each month average temperature year to year (URL 2). A similar scenario exists also in Turkey. Predicted temperature increases in Turkey for 2100 compared with 1960-1990, based on a large number of climate models are about 2.5-3°C in the north, 3-3.5°C over central and south-western regions, and 3.5-4.0°C in the east. Turkey's annual mean temperature in January 2021 was 5.4°C. This value is 2.7°C above from 1981- 2010 normal (2.7°C). This value made January 2021 the second warmest January since 1971 (URL 3). Global climate change especially an increase in average temperature has a significant impact on the geographical distribution, population dynamics, and phenology of many organisms, particularly for insects. The life history of insects such as growth, development, survival, feeding, reproduction and migration closely related with environmental temperatures as they are poikilothermic. Thus, how to overcome the effects of global warming becomes a fundamental issue for both individual success and maintenance of insect population. Previous studies have shown that climate warming can increase the growth and development of insects, leading to earlier appearance and longer life cycle with producing more generations in different insects such as butterflies, bees, dragonflies and damselflies, flies, beetles and also aphids. Aphids with a small body size, being a highly invasive species due to phenotypic plasticity, showing efficient insecticide resistance, unique reproduction style and short development time, developing defenses against natural enemies and plant chemistry, having a strong symbiotic relations with obligate and facultative bacteria, being an obligatory (even parasitic) phytophagous insects with close relationships with host plants range are susceptible to the change in environmental conditions, especially to temperature changes (Sepulveda et al., 2021). These characteristics let aphid species being a model group to study the effects of global warming on animals, particularly insects. The life cycle of the green peach aphid *Myzus persicae* is directly affected from environmental temperature. While the reproductive mode of *M. persicae* is generally cyclically parthenogenetic in colder conditions, they have cyclical parthenogenesis, as well as obligate parthenogenesis in warmer regions. Several studies have reported that climate change, especially temperature change, has a significant influence on the occurrence and growth of aphids. Aphids are considered as sentinels of climate change, as there are early detected and much larger numbers of individuals flying around resulting in more aphids flying in spring and early summer, when host plants are particularly susceptible to damage. It has been shown that every 1°C rise in mean temperature for January and February resulted in two weeks earlier flight for the peach potato aphid, *M. persicae* (URL 1).

Wu et al. (2020) showed that the first appearance dates and the first migration period of the three aphids (*M. persicae*, *Aphis gossypii* and *Sitobion avenae*) become earlier, while the disappearance and the last migration dates were slightly delayed. The Rothamsted Insect Survey (RIS) found that the first migratory date of 55 aphid species in the UK was earlier and the average migratory season of most species was significantly extended, although different species showed varied response patterns due to warming temperature (Bell et al., 2015). Furthermore, the first emerge of the nymphs of juniper aphid, *Cinara juniperi*, in the temperate areas of Poland is earlier as local spring temperature increased (Durak et al., 2016). Moreover, during the warmer early winter of 2013–2014, female adult aphids of *Stomaphis* spp. successfully lived for four months longer than usual (Depa et al., 2015). This study aimed to find out whether there were any impacts of the recognized increase in winter temperature to followed aphid species.

2. Material and Methods

Four aphid species (*C. cedri*, *C. tujaefilina*, *M. dirhodum*, *P. persicae*) followed about two years (from March 2020 to December 2021), especially during the fall and winter season, and then samples were collected from Niğde and Artvin Provinces. All sampled population recorded and preserved according to standard methods followed by aphidologist (Blackman and Eastop, 2022). Collected samples defined according to identification key offered by Blackman and Eastop (2022). Biology, host plant usage and taxonomical statues derived for each defined species (Blackman and Eastop, 2022; Favret, 2022; URL 5) and colony appearances of each species on host plants photographed. Meteorological data related to global warming and sampling area were obtained (Table 1). Voucher specimen of the defined species are deposited at the Biotechnology Department of the Niğde Ömer Halisdemir University.

Table 1: Average temperature of both Artvin and Niğde Province (URL 4)

| | Average Temperature (°C) | | | |
|----------------------------|--------------------------|----------|----------------|----------|
| | Artvin Province | | Niğde Province | |
| | January | February | January | February |
| Long term (About 80 years) | 2.6 | 3.8 | -0.3 | 1.1 |
| 2020 | 3.0 | 4.9 | 0.4 | 2.1 |
| 2021 | 3.6 | 5.7 | 3.1 | 2.9 |

3. Results

The obtained information for four species during field observations and detections, *M. dirhodum*, *C. cedri*, *C. tujaefilina*, *P. persicae*, combined and compared with the general information provided in literatures. Results for each species are given in alphabetical order.

3.1. *Cinara (Cinara) cedri* Mimeur, 1936, Cedar bark aphid

C. cedri shows monoecious holocyclic life cycle, they feed on the bark, branches and trunks of the various *Cedrus* spp. (*atlantica*, *brevifolia*, *deodora*, *libani*) and distributed in Europe, the Mediterranean region, North Africa, south-west and Central Asia, also been introduced to North America and Argentina (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). It has been shown that they might cause severe damages related with colonization intensity (Oğuzoğlu and Avcı, 2019). Generally, they produce oviparae and males in October-November to produce egg to ensure to survive under the harsh conditions, and then following the overwintering egg individuals hatch around middle March-April on the same host plant (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). Recent studies clearly indicated how temperature changes dramatically influence the life history traits of the *C. cedri* (Ji et al., 2021). The detected *C. cedri* population in Niğde Province clearly demonstrated how increased average temperature extended the parthenogenetic reproduction period of the population on the *Cedrus* sp. As Niğde is one of the cold regions in Turkey, it was expected to detect overwintering egg around October, but there was still parthenogenetic population heavily colonized on the branch of the *Cedrus* sp. even in January (Figure 1) indicating more than 10 generations at least in this period.



Figure 1. *Cinara cedri* population on *Cedrus* sp. in Niğde on 10th January

3.2. *Cinara (Cupressobium) tujafilina* (Del Guercio, 1909), Cypress pine aphid, Thuja aphid

C. tujafilina is an almost entirely monoecious anholocyclic species feeding mainly on the undersides of branches near the trunk - or, in midsummer, on roots of many genera of Cupressaceae including *Chamaecyparis*, *Cupressus*, *Juniperus* and *Platycladus orientalis*, mostly on the twigs of the *P. orientalis* (Syn: *Thuja orientalis*) and it is almost cosmopolitan (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). It has been shown that they rarely produce sexual forms and eggs especially in cooler and higher altitude regions and in laboratories as shown in Iran, Poland and Kyrgyzstan. Mainly produces three to five overwintering generations on the roots of *P. orientalis* in winter. Related with environmental

temperature changes also *C. tujafilina* changes feeding sites, aphids migrate from leaves to the main trunk at 13 °C, and move to root at 0°C (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). Actually findings parthenogenetically produced population on *P. orientalis* at the 16th/19th February is not big surprise even mean temperature is not suitable for minimum development, but they supposed to be on the bark/trunk/root instead of being on the twigs-branches of the *P. orientalis* related with mean temperature in both Artvin and Niğde (Figure 2). Detecting population on the twigs of the host plant in the middle of the February most probably indicating that environmental conditions did not force them to move on the host plant root.



Figure 2. *Cinara tujafilina* colonies detected on *Platycladus orientalis*; **a)**16th February in Artvin, **b)**19th February in Niğde

3.3. *Metopolophium(Metopolophium) dirhodum* (Walker,1849), The rose grain aphid, rose-grass aphid

M. dirhodum shows heteroecious holocyclic life cycles. They mainly feed on wild and cultivated *Rosa* spp. in spring, and produce sexual forms and lay eggs on these host plants related with environmental conditions basically in the middle of the fall season. They migrate to various species of Poaceae and Cyperaceae at the beginning of June. Large colonies on cereals might cause economic damage either directly feeding phloem sap or transmitting maize mosaic virus and barley yellow dwarf virus. It has been shown that some overwintering on grasses occurs in some parts of Europe, New Zealand and Brazil, meaning that they easily change their life cycle related with environmental conditions. In heteroecious holocyclic life cycle, overwintering eggs laid on rose during October-November hatch in March to give fundatrices in April, the return migration of gynoparae to rose occurs in October-November, and their offspring develop to oviparae_(Blackman and Eastop, 2022; URL 5). In contrast to this general pattern, it has been shown that studied *M. dirhodum* population maintained their normal parthenogenetic reproduction phase on *Rosa* sp. by February during the year of 2020 to 2021 in both Artvin and Niğde Province (Figure 3). They extended their parthenogenetic survival more than two months indicating at least six more generations.



Figure 3. *Metopolophium dirhodum* species detected on *Rosa* sp., a) 13th February in Niğde, b) 16th February in Artvin

3.4. *Pterochloroides persicae* (Cholodkovsky, 1898), Black peach aphid, Brown peach aphid, Peach trunk aphid, Giant black bark aphid

P. persicae form dense colonies preferably in the shaded part of the *Prunus* spp., and produce huge amount of honeydew and thus are usually attended by ants. This species probably originated from East-Central Asia, has extended distribution through westwards and southwards into Europe and the Middle East where it has become an important pest of peach and almond trees (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). Most populations of the *P. persicae* are monoecious anholocyclic in warmer regions on *Prunus* spp. In a cooler and dry region, it is monoecious holocyclic on *Prunus* spp. (*armeniaca*, *persica*, *spinosa*), sexual forms were recorded in a higher altitude of the Iran and also detected in Poland (Blackman and Eastop, 2022; URL 5). Individuals start to hatch from the egg in Middle of the March in a cooler condition where they produce overwintering eggs. Interestingly, population determined just hatched from eggs on the host plant, both *Prunus dulcis* and *P. persica* was on 13th February which was about a month earlier than expectation (Figure 4). Recently, it has been shown that increase in both the number of generation and extending distribution let *P. persicae* to become a severe pest for *Prunus* spp.(URL 5), it is possible to determine a similar tendency in Turkey as they hatch earlier and produce more generations even in a cooler and dry area like Niğde Province.



Figure 4. Hatched *Pterochloroides persicae* individuals from overwintering egg on *Prunus dulcis* in Niğde on 13th February.

4. Discussion

Global warming generally favors the better development of aphid populations due to the very short generation time and their great reproductive capacity. An increase of only 1 °C in the winter mean temperature advances the timing of spring migration in aphids by two weeks and has shown that an increase in temperature of only 2.8 °C would allow the number of generations produced per year to increase from 18 to 23 (Harrington, 1994; Harrington et al., 1995; Yamamura and Kritani, 1998) and also larger population size. The warmed temperature may endorse the growth of aphid populations and substantial increase by shortening the development time and increasing in fecundity (Hulle et al., 2010). Mounica et al. (2020) pointed out that maize aphid, *Rhopalosiphum padi*, reduced development time and significantly increased the number of the generations under accelerated temperature. Four studied aphid species, *C. cedri*, *C. tujaefilina*, *M. dirhodum*, *P. persicae*, showed similar pattern in Niğde and Artvin Province even there were species specific differences also recognized. While *M. dirhodum*, *C. tujaefilina* and *C. cedri* showed about 6 to 10 more generations related with temperature changes, *P. persicae* showed about a month earlier hatch from the egg meaning at least 3 more generations at least in this certain condition. Durak and Sobkowiak (2013) clearly indicated how increased temperature influenced life history traits of the *C. tujaefilina* and also other aphid species adding more generations. In addition to the increased temperature impacts on the number of the generations produced, the minimum temperature for aphid development is generally about 4 °C, but this also changes within and between species (Hulle et al., 2010). When the mean temperature of the Niğde and Artvin Provinces were taken into consideration, there are also species specific interactions detected while 3 of the species continued to reproduce parthenogenetically, *P. persicae* produced overwintering egg and hatched early from the egg. Despite the numerous studies carried out to clarify global warming effects on the aphid populations, it is not possible to launch a general decision on whether all aphid populations will be affected (Newman, 2003; Pritchard et al., 2007). The long term data on aphids can be used to achieve more accurate decision about the increased temperature effects

on each aphid species especially for agricultural aspects, that is one of the most vulnerable area to the predicted climate change with an adverse impact on crop losses, and aphid management. Whether the increase in the number of the generations under this definitive situation both in Niğde and Artvin Provinces are continuous, there should be longer term studies should be conducted and population should be followed carefully. World aphid fauna consists of about 5300 defined aphid species (Favret, 2022) and about 615 species listed for Turkey aphid fauna (Görür et al., 2022). It has been considered that global warming effects on aphid species are species specific and more study might be carried on especially agriculturally important aphid species. As Turkey is one of the countries that is going to be affected adversely from global warming, more coordinated and detailed study is planned to follow increased temperature influences on aphid species that may increase their capacity of damaging especially agriculturally important host plants. To reach a more accurate and plausible pattern about how global warming affects aphid species, what is going to be result, the overall influences of the global warming on aphid-host plant-natural enemy interactions should be studied in a local and global scale.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Blackman R., Eastop V. Aphids on the World's plants: An online identification and information guide. Published on the internet. <http://www.aphidsonworldsplants.info> (Downloaded on 5 March 2022).
- Bell JR., Alderson L., Izera D., Kruger T., Parker S., Pickup J., Shortall CR., Taylor MS., Verrier P., Harrington R. Long-term phenological trends, species accumulation rates, aphid traits and climate: Five decades of change in migrating aphids. *Journal Animal Ecology* 2015; 84(1): 21–34.
- Durak R., Sobkowiak BB. Influence of temperature on the biological parameters of the anholocyclic species *Cinara tujafilina* (Hemiptera:Aphidoidea). *Central European Journal of Biology* 2013; 8(6): 570-577.
- Depa L., Taszakowski A., Kanturski M. Impact of warm weather events on prolongation of the life cycle of *Stomaphis* Walker (Hemiptera, Aphididae, Lachninae). *Turkish Journal of Zoology* 2015; 39: 669–671.

- Durak R., Wegrzyn E., Leniowski K. Do all aphids benefit from climate warming? An effect of temperature increase on a native species of temperate climatic zone *Cinara juniperi*. *Ethology Ecology and Evolution* 2016; 28: 188–201.
- Favret C. Aphid Species File. Published on the internet. <http://aphid.speciesfile.org> (Downloaded on 5 March 2022).
- Görür G., Şenol Ö., Akyıldırım Beğen H., Akyürek B. Turkish aphid. Published on the internet. www.turkishaphid.com (Downloaded on 5 March 2021).
- Harrington R. Aphid layer. *Antenna* 1994; 18: 50–51.
- Harrington R., Bale JS., Tatchell GM. In: Harrington R, Stork NE, (eds). *Aphids in a changing climate. Insects in a changing environment*. London: Academic Press 1995; 125–155.
- Hulle M., Coeur d’Acier A., Dronnet SB., Harrington R. Aphids in the face of global changes. *Comptes Rendus Biologies* 2010; 333(6-7): 497-503.
- Ji Y., Li G., Zhou C., Yin S. Influence of temperature on the development and reproduction of *Cinara cedri* (Hemiptera: Aphidoidea: Lachninae). *Bulletin of Entomological Research* 2021; 111(5): 579–584.
- Mounica D., Krishnayya PV., Srinivasa RM., Patibanda AK. Response of three successive generations of maize aphid, *Rhopalosiphum maidis* Fitch (Aphididae: Hemiptera) reared on maize, *Zea mays* Linnaeus under elevated carbon dioxide and temperature. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2020; 9(1): 540-546.
- Newman JA. Climate change and cereal aphids: the relative effects of increasing CO₂ and temperature on aphid population dynamics. *Global Change Biology* 2003; 10(1): 5–15.
- Oğuzoğlu Ş., Avcı M. Distribution, biology, morphology and damage of *Cinara cedri* Mimeur, 1936 (Hemiptera: Aphididae) in the Isparta Regional Forest Directorate. *Forestist* 2019; 69(1): 1–10.
- Pritchard J., Griffiths B., Hunt EJ. Can the plant-mediated impacts on aphids of elevated CO₂ and drought be predicted? *Global Change Biology* 2007; 13:1616–1629.
- Sepúlveda DA., Barrueto G., Correa MCG., Castañeda LE., Figueroa CC. Spatial and temporal variation in the aphid–parasitoid interaction under different climates. *Agriculture* 2021; 11(4): 344.
- Wu Y., Li J., Liu H., Qiao G., Huang X. Investigating the impact of climate warming on phenology of aphid pests in China using long-term historical data. *Insects* 2020; 11(3): 167.
- Yamamura K., Kiritani K. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. *Applied Entomology and Zoology* 1998; 33(2): 289–298.
- URL 1: <http://www.sciencedaily.com/releases>. ScienceDaily. Biotechnology and biological sciences research council. aphids are sentinels of climate change. Published on the internet. (Date of Access: 12 August 2008).

URL 2: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global>. NOAA National centers for environmental information. state of the climate: global climate report for 2021. (Date of Access: 23 February 2022).

URL 3: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/world/turkey>. Met Office. (Date of Access: 5 March 2022).

URL 4: <https://www.mgm.gov.tr>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (Date of Access: 4 March 2022).

URL 5: https://influentialpoints.com/Gallery/Aphid_genera.htm InfluentialPoints. (Date of Access: 4 March 2022).

Alternatif Yem Hammaddesi Olarak Gıda Endüstrisi İşleme Yan Ürünlerinin Besin Madde İçeriklerinin Kimyasal ve Spektroskopik (NIRS) Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması

Emrah KARADAĞ¹, Serdar GENÇ², Aylin AĞMA OKUR^{3*}

^{1,3}Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, 59030, Tekirdağ

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 40100, Kırşehir

¹<https://orcid.org/0000-0002-6845-8582>

²<https://orcid.org/0000-0002-1512-9072>

³<https://orcid.org/0000-0001-6678-765X>

*Sorumlu yazar: aagma@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.02.2022

Kabul tarihi: 28.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Elek-altı ürünler
Alternatif yem hammaddeleri
Kimyasal analiz
NIRS

ÖZ

Çalışma ile; gıda fabrikalarının bazı elek-altı ürünlerinin (mercimek kırığı, nohut kırığı, fasulye kırığı, pirinç kırığı, mercimek kepeği, bulgur kepeği, mısır kırması, irmik altı) besin madde kompozisyonlarının kimyasal ve spektroskopik (NIRS) analiz metotları kullanılarak tespit edilip, sonuçlar arasındaki farklılıkların ortaya konulması amaçlanmıştır. Her iki yöntemle göre analiz edilen yemlerin istatistik analiz sonuçları değerlendirildiğinde; ham kül, ham selüloz, ADF, NDF ve ham yağ analiz sonuçları arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Nem analiz sonuçları arasında irmik altı, bulgur kepeği, mısır kırması ve mercimek kırığı arasındaki farklılık istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Bununla birlikte, nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı ve mercimek kepeğinin arasındaki farklılıklar ise önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Ham protein içeriklerinin eşleştirilmiş grup t-testi analizi sonuçlarına göre; mısır kırması, nohut kırığı, pirinç kırığı, mercimek kırığı ve mercimek kepeğinin farklılıkları önemli bulunmuştur ($P<0,05$). İrmik altı, bulgur kepeği ve fasulye kırığının ise farklı analiz yöntemleri ile saptanan sonuçları arasında bir farklılık saptanmamıştır ($P>0,05$). Nişasta analiz sonuçları incelendiğinde; sadece mısır kırması için farklılıklar istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). İrmik altı, bulgur kepeği, nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı, mercimek kırığı ve kepeğinin nişasta analiz sonuçları arasındaki fark ise önemli bulunmuştur ($P<0,01$). Kimyasal ve NIRS metotları ile yapılan şeker analiz sonuçlarına göre; irmik altı, nohut kırığı, pirinç kırığı ve mercimek kepeğinin arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bulgur kepeği, mısır kırması, pirinç kırığı, fasulye kırığı ve mercimek kırığında ise farklar önemsiz olarak saptanmıştır ($P>0,05$). Besin maddesi analiz sonuçlarından hesaplanarak bulunan metabolize olabilir enerji (ME; kcal kg^{-1}) değerleri karşılaştırıldığında; yalnızca mısır kırması için fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). NIRS metodu; hızlı ve doğru sonuç vermesi sayesinde yaygınlaşmış bir teknik olmakla beraber, çalışmamızda analizi yapılan hammaddeleri temsil edecek uygun kalibrasyonun yapılamaması ve ürünlerin elek altı olmaları sebebiyle yeterince homojen olmamaları da, NIRS sonuçlarının kimyasal analizleri yansıtmamasının sebepleri olabilir.

Food Industry Processing By-products as Alternative Feedstuffs and Comparison of Their Nutrient Analysis Results Obtained by Chemical and Spectroscopic (NIRS) Methods

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 22.02.2022

Accepted: 28.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Under-sieve products

Alternative feed ingredients

Chemical analysis

NIRS

The aim of study is to determine the nutrient composition of some food industry under-sieve materials (broken lentil, broken chickpea, broken bean, broken rice, lentil bran, bulgur bran, corn bran mix, and semolina by-products) using chemical, and spectroscopic (NIRS) analysis methods. When the statistical analysis results of the alternative feedstuffs analyzed according to both methods were evaluated, the differences between crude ash, ether extract, crude fiber, ADF, and NDF analysis results were found to be significant ($P<0.05$). The difference between NDF analysis results was found to be significant ($P<0.01$). Among the moisture analysis results, the differences between semolina by-products, bulgur bran, corn bran mix, and broken lentil were statistically insignificant ($P>0.05$). However, the differences between broken chickpea, broken rice, broken bean, and lentil bran were found to be significant ($P<0.05$). According to the paired group t-test analysis results of crude protein contents, the differences in corn bran mix, broken chickpea, broken rice, broken lentil, and lentil bran were found to be significant ($P<0.05$). On the other hand, there was no difference between the results of semolina by-products, bulgur bran, and broken bean using chemical and NIRS analysis methods ($P>0.05$). In the starch analysis results, the differences between the results in the corn bran mix were found to be statistically insignificant ($P>0.05$). The difference between the starch analysis results of semolina by-products, bulgur bran, broken chickpea, broken rice, broken bean, broken lentil, and bran was found to be significant ($P<0.01$). According to the results of sugar analysis made by chemical and NIRS methods, the difference between semolina, lentil bran, chickpea, and broken rice was found significant ($P<0.05$). The differences were found insignificant in bulgur bran, corn mix, rice, bean, and lentil broken ($P>0.05$). When the metabolizable energy (ME; kcal kg^{-1}) values calculated from the nutrient analysis results were compared, the difference was found statistically insignificant only for the corn bran mix ($P>0.05$). Although the NIRS is a widespread method thanks to its fast and accurate results, the inability to make the appropriate calibration to represent the raw materials analyzed in our study and also the inhomogeneity of the under-sieve material might be the reasons why the NIRS results do not reflect the chemical analysis.

To Cite: Karadağ E., Genç S., Ağma Okur A. Alternatif Yem Hammaddesi Olarak Gıda Endüstrisi İşleme Yan Ürünlerinin Besin Madde İçeriklerinin Kimyasal ve Spektroskopik (NIRS) Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 78-89.

Giriş

Dünya’da artan nüfus ile birlikte, her geçen yıl hayvansal gıdaya olan ihtiyaç artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamak için, üretilen çiftlik hayvanlarının besin madde gereksinimlerini en ideal şekilde karşılayacak dengeli ve ekonomik bir yem karması hazırlanması gereklidir (Şenköylü, 2001). Günümüzde, tüm dünyada üretilen tarım ürünlerinin %35’ lik kısmı çiftlik hayvanlarının beslemesinde kullanılmaktadır. Bir ürünün, yem hammaddesi olarak kullanılabilmesi için; hayvanın severek tüketmesi, hayvan üzerinde toksik etkisinin bulunmaması, besin madde içeriğinin uygun ve sindirilebilir olması gerekmektedir (İpçak ve ark., 2018). Yem hammaddesi olarak kullanılan birçok hammadde (tahıllar, mısır, soya vb.) insan beslenmesinde de kullanıldığından alternatif yem kaynaklarına yönelim gözlemlenmektedir (Grasser ve ark., 1995). Önümüzdeki yıllarda nüfus artışıyla birlikte, bu temel hammaddelerin hem insan hem de hayvan beslemesinde kullanılması ile ilgili ciddi bir rekabetin oluşacağı düşünülmektedir. Buna bağlı olarak, hammadde fiyatlarında artış görülmesi beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır (İpçak ve ark., 2018). Sürdürülebilir ve ekonomik bir hayvansal üretim yapabilmek için, çeşitli endüstri yan ürünlerinin alternatif yem hammaddesi

olarak belli oranlarda rasyonlarda kullanılabileceği belirtilmiştir (Grasser ve ark., 1995). Nüfustaki hızlı artış, hazır gıda ve konserve sanayisinde hızlı büyümeye yol açarak yem sektörü için önemli ölçüde endüstri yan ürünleri sağlamaktadır (Grasser ve ark., 1995).

Son yıllarda ülkemizde tarım ve hayvancılık alanında yaşanan gelişmeler sonucunda kültür ve melez ırkları sayılarında ve dolayısıyla da hayvan varlığı sayılarında önemli ölçüde artış görülmüştür. Bu durum, kaliteli ve ekonomik yem hammaddelerine olan ihtiyacın da artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte hammaddelerin fiyatlarında, arz ve talepleri arasında görülen dengesizlikler ve yaşanmakta olan pandemi sürecine de bağlı olarak artışlar meydana gelmektedir. Ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada da, yem hammaddelerinin fiyatlarındaki artış büyük bir sorun olarak görülmektedir. Bu durum yem fiyatlarına da yansımaktadır. Bunun sonucu olarak hayvancılık işletmelerinde giderlerin önemli bir kısmını yem maliyetlerinin (%60-70) oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda, nitelikli ve ekonomik yemleri temin etmek işletme karlılığını önemli düzeyde yükseltecektir. Bir yandan hammaddelerinin fiyatlarındaki yükseliş, diğer yandan da yem kaynaklarının miktar ve kalite olarak yetersiz kalabilmesi, hayvan besleme konusunda çalışan araştırmacıları ve yem üreticilerini alternatif yem hammaddeleri bulmaya yönelik araştırmalar yapmaya sevk etmiştir (Alçıçek ve ark., 2002; Vasta ve ark., 2008; Pehlevan, 2014).

Ülkemizin tahıl, yağlı tohum ve karma yem üretim miktarları incelendiğinde; yem sanayiinin yem hammadde ihtiyacı konusunda yıllar itibariyle nasıl daha çok dışa bağımlı hale geldiği gözlenebilmektedir. Son yirmi yılın verilerine göre tahıl üretiminde %1, yağlı tohumların üretiminde %67 artış görülürken, karma yem üretimindeki artış miktarı ise %358 olarak belirtilmiştir. 2018 yılı karma yem üretimi 24,1 milyon ton ve cirosu 7,2 milyar USD'dır. Aynı yıl ithal edilen yem hammaddesi 11,1 milyon ton ve ödenen miktar ise 3,8 milyar USD olarak görülmektedir (Türkiyem-Bir, 2019). Bununla birlikte, 2020 yılı Ocak ve Aralık ayları arasında hammadde fiyatlarının ortalama %64, karma yem fiyatlarının ise ortalama %42 arttığı bildirilmiştir (Türkiyem-Bir, 2020).

Karma yem sanayinde kullanılan hammadde ihtiyacının tamamı ülke içerisinden karşılanamamaktadır. Her geçen yıl, karma yem sanayi üretimi için yapılan hammadde ithalatı artış göstermektedir. Bu miktar yaklaşık olarak 2009 yılında 4 milyon ton iken, 2014 yılında 9 milyon ton, 2018 yılında 11 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Türkiyem-Bir, 2019). Gürocağ ve ark. (1982) ülkemiz karma yem sanayiinin her geçen gün artan hammadde gereksiniminin karşılanabilmesi için; topraklarımızda üretimi gerçekleştirilmekle beraber, henüz karma yemlerde kullanım olanakları ve oranları bilimsel çalışmalarla ortaya konmamış yem hammaddelerinin üzerinde durulması ve bunlarla ilgili araştırmaların yapılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı; fabrika işleme artıklarının (irmik altı, bulgur kepeği, mısır kırması, nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı, mercimek kırığı, mercimek kepeği) besin madde kompozisyonunun kimyasal ve spektroskopik (NIRS) analiz metotları kullanılarak tespit edilip, karma yem sanayinde alternatif yem hammaddesi olarak kullanım olanaklarının araştırılmasıdır.

Materyal ve Metot

Araştırmanın materyali olarak fabrika ürün işleme artıklarından; irmik altı, bulgur kepeği, mısır kırması, nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı, mercimek kırığı, mercimek kepeği kullanılmıştır. Materyaller öğütme makinesinde yaklaşık 1 mm elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Her bir fabrika işleme artığının, 3 tekerrür olacak şekilde besin madde analizleri yapılmıştır. Örneklerin ham besin madde (kuru madde, ham protein, ham selüloz, nötral deterjanda çözünmeyen lif, asit deterjanda çözünmeyen lif, ham kül, ham yağ, nişasta ve şeker) içerikleri Weende Analiz Yöntemleri ve NIRS (FOSS, NIRS DS2500) cihazı ile saptanmıştır.

Yemlerin kuru madde (KM) içerikleri etüvde 105 °C sıcaklıkta 4 saat kurutularak, ham kül (HK) içeriği ise kül fırınında 550 °C sıcaklıkta 4 saat yakılarak saptanmıştır. Azot (N) içeriğinin saptanmasında Kjeldahl metodundan yararlanılmıştır. Ham protein (HP) ise, $N \times 6,25$ formülü ile hesaplanmıştır. Ham yağ (HY) içeriği, soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmiştir (AOAC, 1997). Nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) ve asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) analizleri Close ve Menke (1986)'ye göre yapılmıştır. Hesaplamalar, Eşitlik 1 ve 2'ye göre yapılmıştır.

$$\text{NDF (g kg}^{-1}\text{ KM)} = a-b/N \times 1000 \quad (1)$$

a = NDF içeren kuru cam krozenin ağırlığı, g

b = cam krozenin darası alınmış ağırlığı, g

N= örneğin ağırlığı, g

$$\text{ADF (g kg}^{-1}\text{ KM)} = a-b /N \times 1000 \quad (2)$$

a = ADF içeren kuru cam kroze ağırlığı, g

b = Darası alınmış cam krozenin ağırlığı, g

N = Numune miktarı, g

Şeker oranı (%), Layne-Eynon metodu ile örneklerdeki invert şekerin (glukoz+fruktoz) Fechlink çözeltisinde oluşan bakır oksidi (CuO), suda çözünmeyen bakırdioksidi (Cu₂O) indirgenmesi esasına göre gerçekleştirilmiştir (Kirk ve Sawyer, 1991).

Nişasta oranı (%), hammadde örneklerinden 5 g tartılmış, 100 ml'lik ölçü balonuna aktarılmıştır, üzerine %1'lik HCl çözeltisinden 50 ml konularak, karıştırılmıştır. Daha sonra 95-100 °C' lik su banyosunda 15 dakika süre ile bekletilmiş, su banyosundan çıkartıldıktan sonra ise 30-35 ml saf su ilave edilerek soğutulmuştur. %4'lük fosfor wolfram asidinden 10 ml ilave edilmiş, saf suyla ölçüsüne kadar tamamlanarak, filtre kağıdından geçirilmiştir. Ardından polarimetre tüpünde okuma yapılmış ve nişasta düzeyi (%) belirlenmiştir (Anıl, 1999).

Metabolize olabilir enerji (ME) değerleri, tek mideli hayvanlar için kullanılan Carpenter ve Clegg (1956) tarafından belirtilen formüle göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$ME \text{ (kcal/kg)} = [53 + 38 (\% \text{ham protein} + 2,25 \times \% \text{ham yağ} + 1,1 \times \% \text{nişasta} + \% \text{şeker})] \quad (3)$$

Örnek materyallerin Weende ve NIRS analizlerinden elde edilen değerlere eş yapma t-testi (paired-t test) uygulanmış ve iki analiz yönteminin sonuçları arasındaki farklılıkların önemli olup olmadığı $P < 0,05$ seviyesinde test edilerek belirlenmiştir (Düzgüneş ve ark., 1983; Soysal, 2000). İstatistik analizler Minitab paket programı yardımıyla yapılmıştır (Minitab, 2000).

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada yapılan tüm analizler, hem kimyasal analiz hem de yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi (NIRS) ile gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizler, hammaddelerin yem değerleri hakkında önemli bilgiler içerirler. Bununla birlikte; kimyasal analiz metotları, analiz sırasında kullanılan kimyasallardan dolayı pahalı olmakta ve sonuca ulaşmak göreceli olarak uzun sürmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda kullanılan kimyasal maddelerden dolayı insan sağlığına ve atık madde olarak çevreye olumsuz etkilerinin olması gibi durumlarda söz konusu olabilmektedir.

NIRS ise, yemlerin birçok kimyasal bileşiminin (Shenk ve Westerhaus, 1985; Redshaw ve ark., 1986; Williams ve Sobering, 1993) ve besin madde özelliklerinin belirlenmesinde (Norris ve ark., 1976; Barber ve ark., 1990; Park ve ark., 1997) önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Spektroskopik analiz (NIRS) ile kül, yağ, ham protein, çözünür karbonhidratlar ve lif yapısının miktarını belirlemenin maliyetinin; geleneksel kimyasal analizlerin maliyetinin yaklaşık olarak beşte biri olduğu belirtilmiştir (Ulyatt ve ark., 1995). Bunun yanısıra, yemlerin kimyasal bileşimini ve sindirilme düzeylerini tahmin etmede de başarılı olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Dardenne ve ark., 1993; De Boever ve ark., 1997; Deaville ve Givens, 1998). Sindirilebilir organik madde; NDF ve ADF gibi parametrelerin sonucuna ise NIRS metodunda yalnızca bir analitik işlem ile ulaşılabildiği de ilave edilmiştir (Stuth ve ark., 2003).

Tablo 1. Alternatif yem hammaddelerinin, nem değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları

| | Nem, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 10,76±0,802 | 10,45±0,110 | 4,06 | 0,056 |
| Bulgur Kepeği | 10,85±0,087 | 10,35±0,295 | 2,53 | 0,113 |
| Mısır Kırması | 11,77±0,049 | 11,18±0,272 | 4,02 | 0,057 |
| Nohut Kırığı | 8,56±0,144 | 9,82±0,072 | -29,00 | 0,001** |
| Pirinç Kırığı | 12,27±0,260 | 11,34±0,306 | 4,86 | 0,040* |
| Fasulye Kırığı | 11,60±0,121 | 11,04±0,122 | 24,14 | 0,002** |
| Mercimek Kırığı | 10,56±0,062 | 9,64±0,397 | 3,62 | 0,069 |
| Mercimek Kepeği | 11,43±0,099 | 9,89±0,104 | 13,71 | 0,005** |

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Araştırmada kullanılan alternatif yem hammaddelerinin kimyasal ve NIRS analiz yöntemleriyle elde edilen sonuçları tablolarda (Tablo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10) ortaya konmuştur. İrmik altı, bulgur kepeği, mısır kırması ve mercimek kırığı hammaddelerinin nem analiz sonuçları arasında, kimyasal ve NIRS analiz yöntemleri arasındaki farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 1; $P > 0,05$). Nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı ve mercimek kepeğinin nem analiz sonuçları incelendiğinde

ise; farklılıklar önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bu nedenle bu hammaddelerin nem analizlerinin NIRS ile yapılmasının çalışmada hammadde örneklerinin nem içeriğini yansıtmadığı söylenebilir.

Tablo 2. Alternatif yem hammaddelerinin, ortalama ham kül (%) değerleri ve standart sapmaları

| | Ham Kül, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 2,82±0,056 | 3,37±0,210 | -5,38 | 0,033* |
| Bulgur Kepeği | 4,41±0,093 | 4,74±0,075 | -11,00 | 0,008** |
| Mısır Kırmacı | 1,87±0,046 | 2,31±0,100 | -5,34 | 0,033* |
| Nohut Kırığı | 4,44±0,060 | 5,13±0,189 | -4,84 | 0,040* |
| Pirinç Kırığı | 0,40±0,017 | 0,80±0,042 | -21,73 | 0,002** |
| Fasulye Kırığı | 6,61±0,060 | 5,51±0,093 | 45,49 | 0,000** |
| Mercimek Kırığı | 2,48±0,0493 | 4,99±0,157 | -22,32 | 0,002** |
| Mercimek Kepeği | 3,04±0,025 | 5,61±0,195 | -23,68 | 0,002** |

* $P<0,05$; ** $P<0,01$

Tablo 2’de alternatif olarak kullanılabilir yem hammaddelerinin kimyasal ve NIRS cihazı ile saptanmış ham kül analiz sonuçları bulunmaktadır. İstatistik analiz sonuçları değerlendirildiğinde, ham kül analiz sonuçları arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur ($P<0,05$).

Tablo 3. Alternatif yem hammaddelerinin, ortalama ham protein (%) değerleri ve standart sapmaları

| | Ham Protein % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|--------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 13,87±0,079 | 14,02±0,401 | -0,77 | 0,520 |
| Bulgur Kepeği | 14,24±0,083 | 15,23±0,525 | -3,05 | 0,093 |
| Mısır Kırmacı | 8,29±0,042 | 7,18±0,228 | 9,98 | 0,010* |
| Nohut Kırığı | 21,83±0,098 | 19,563±0,597 | 5,77 | 0,029* |
| Pirinç Kırığı | 7,36±0,074 | 6,55±0,216 | 5,12 | 0,036* |
| Fasulye Kırığı | 20,58±0,071 | 20,80±0,594 | -0,72 | 0,545 |
| Mercimek Kırığı | 24,15±0,108 | 20,423±0,295 | 16,84 | 0,004** |
| Mercimek Kepeği | 17,80±0,087 | 14,867±0,397 | 10,78 | 0,008** |

* $P<0,05$; ** $P<0,01$

Alternatif yem hammaddelerinin ham protein içeriklerinin analiz sonuçları Tablo 3’te verildiği gibidir. Mısır kırmacı, nohut kırığı, pirinç kırığı, mercimek kırığı ve mercimek kepeğinin eşleştirilmiş grup istatistik analiz sonuçlarına göre farklılıkları önemli bulunmuştur ($P<0,05$). İrmik altı, bulgur kepeği ve fasulye kırığının ise farklı analiz yöntemleri ile saptanan sonuçları arasında bir farklılık saptanmamıştır ($P>0,05$). Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, baklagillerin protein oranlarının literatürlerle uyumlu şekilde yüksek bulunduğu görülmüştür (Yaralı, 2018).

Hammaddelerin ham yağ değerleri ve standart sapmaları Tablo 4’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; ham yağ analiz sonuçları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$).

Hammaddelerin ham selüloz değerleri ve standart sapmaları Tablo 5’ te belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; ham selüloz analiz sonuçları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bununla birlikte, Pirinç kırığının NIRS cihazında analiz sonucu saptanamamış, bu sebeple istatistik analizi yapılamamıştır. Yalnızca yağ analiz sonucu ortalaması tabloda bilgi amaçlı

olarak verilmiştir. Bunun sebebi, Pirinç kırığının protein değerinin %0,17 gibi düşük bir değer olması sonucu, NIRS cihazının okuma gerçekleştirememesi olabilir.

Tablo 4. Alternatif yem hammaddelerinin, ham yağ (%) ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | Ham Yağ, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 1,91±0,095 | 3,71±0,203 | -13,22 | 0,006** |
| Bulgur Kepeği | 5,89±0,071 | 7,02±0,427 | -4,74 | 0,042* |
| Mısır Kırması | 6,83±0,055 | 3,90±0,192 | 34,23 | 0,001** |
| Nohut Kırığı | 4,59±0,070 | 6,23±0,367 | -7,64 | 0,017* |
| Pirinç Kırığı | 0,83±0,050 | 1,28±0,040 | -10,37 | 0,009** |
| Fasulye Kırığı | 1,13±0,079 | 1,78±0,185 | -7,00 | 0,020* |
| Mercimek Kırığı | 0,753±0,055 | 1,970±0,183 | -13,54 | 0,005** |
| Mercimek Kepeği | 0,78±0,070 | 2,57±0,135 | -21,95 | 0,002** |

*P<0,05; **P<0,01

Tablo 5. Alternatif yem hammaddelerinin, ham selüloz (%) ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | Ham Selüloz % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|--------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 6,08±0,130 | 3,82±0,072 | 20,27 | 0,002** |
| Bulgur Kepeği | 12,70±0,176 | 9,80±0,442 | 16,01 | 0,004** |
| Mısır Kırması | 3,59±0,047 | 2,24±0,28 | 9,16 | 0,012* |
| Nohut Kırığı | 4,75±0,134 | 2,78±0,245 | 13,30 | 0,006** |
| Pirinç Kırığı | 0,17 | - | - | - |
| Fasulye Kırığı | 5,19±0,097 | 3,62±0,204 | 9,05 | 0,012* |
| Mercimek Kırığı | 1,53±0,047 | 0,50±0,076 | 15,92 | 0,004** |
| Mercimek Kepeği | 20,59±0,116 | 12,167±0,325 | 67,20 | 0,000** |

*P<0,05; **P<0,01

Hammaddelerin ADF değerleri ve standart sapmaları Tablo 6'da yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde; ADF analiz sonuçları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P<0,05). Bu durum, iki yöntemin birbirinden farklı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, mercimek kırığının NIRS cihazında analiz sonucu saptanamamış, bu sebeple istatistik analizi yapılamamıştır. Fakat, Weende analiz sonucunun ortalaması (%4,65) Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Alternatif yem hammaddelerinin, ADF (%) ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | ADF, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 7,05±0,292 | 6,20±0,271 | 8,21 | 0,015* |
| Bulgur Kepeği | 17,01±0,426 | 13,88±0,135 | 13,93 | 0,005** |
| Mısır Kırması | 4,84±0,062 | 3,36±0,138 | 14,80 | 0,005** |
| Nohut Kırığı | 6,44±0,209 | 3,11±0,114 | 28,82 | 0,001** |
| Pirinç Kırığı | 1,24±0,121 | 0,15±0,038 | 21,76 | 0,002** |
| Fasulye Kırığı | 9,76±0,234 | 4,90±0,106 | 49,35 | 0,000** |
| Mercimek Kırığı | 4,65 | - | - | - |
| Mercimek Kepeği | 30,41±0,885 | 20,29±0,42 | 25,59 | 0,002** |

*P<0,05; **P<0,01

Hammaddelerin NDF değerleri ve standart sapmaları Tablo 7'de belirtilmiştir. Ham selüloz ve ADF sonuçlarına benzer şekilde iki yöntem ile elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P<0,01). Pirinç kırığının ve mercimek kırığının ise NIRS cihazında analiz

sonucu saptanamamış ve istatistik analizi yapılamamıştır. Bununla birlikte, Weende analiz sonuç ortalamaları Tablo 8’de verilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, mercimek kepeği ham selüloz içeriği %20,59; ADF içeriği %30,41; NDF içeriği ise %35,62 olarak saptanmıştır (Tablo 5, 6 ve 7). Bu değerler, analizi yapılan alternatif yem kaynakları arasında en yüksek sonuçlar olarak görülmektedir. Kara (2016) yaptığı çalışmada benzer sonuçlar bulmuştur. Bu durum rasyon hazırlama sırasında göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardan biridir. Örneğin; kanatlı hayvanlar için bu yüksek selüloz içeriği bir anti-besleme faktörü olarak ele alınmalı (Şenköylü, 2001) ve rasyonda mercimek kepeğinin kullanım oranını belirlerken dikkate alınmalıdır.

Tablo 7. Alternatif yem hammaddelerinin, NDF (%) ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | NDF, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 32,18±0,577 | 19,14±0,459 | 22,68 | 0,002** |
| Bulgur Kepeği | 44,67±0,41 | 35,30±0,585 | 18,53 | 0,003** |
| Mısır Kırmacı | 22,30±0,465 | 10,89±0,466 | 44,88 | 0,000** |
| Nohut Kırığı | 21,89±0,815 | 7,83±0,172 | 29,97 | 0,001** |
| Pirinç Kırığı | 11,45 | - | - | - |
| Fasulye Kırığı | 23,65±0,597 | 10,28±0,420 | 24,07 | 0,002** |
| Mercimek Kırığı | 22,34 | - | - | - |
| Mercimek Kepeği | 35,62±0,381 | 30,97±0,526 | 10,81 | 0,008** |

**P<0,01

Endüstri yan ürünü olan hammaddelerin nişasta analiz sonuçları ve standart sapmaları Tablo 8’de verilmiştir. Mısır kırmasında iki yöntem ile elde edilen sonuçlar sırasıyla %50,60 ve 59,08 olarak saptanmıştır, bu sonuçlar arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (P>0,05). Fakat, irmik altı, bulgur kepeği, nohut kırığı, pirinç kırığı, fasulye kırığı, mercimek kırığı ve kepeğinin nişasta analiz sonuçları arasındaki fark önemli bulunmuştur (P<0,01).

Tablo 8. Alternatif yem hammaddelerinin, nişasta ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | Nişasta, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 20,66±0,409 | 48,03±0,441 | -55,76 | 0,000** |
| Bulgur Kepeği | 0,61±0,172 | 33,82±0,149 | -185,06 | 0,000** |
| Mısır Kırmacı | 50,60±5,40 | 59,08±0,40 | -2,84 | 0,105 |
| Nohut Kırığı | 21,22±0,300 | 39,36±0,605 | -39,22 | 0,001** |
| Pirinç Kırığı | 52,11±0,358 | 72,09±0,917 | -27,88 | 0,001** |
| Fasulye Kırığı | 16,17±0,343 | 38,47±0,372 | -351,13 | 0,000** |
| Mercimek Kırığı | 26,02±0,262 | 46,90±0,726 | -76,02 | 0,000** |
| Mercimek Kepeği | 19,61±0,376 | 8,99±0,135 | 42,27 | 0,001** |

**P<0,01

Endüstri yan ürünü olan hammaddelerin şeker analiz sonuçları ve standart sapmaları Tablo 9’daki gibi bulunmuştur. İrmik altı, nohut kırığı ve mercimek kepeğinin analiz sonuçları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur (P<0,05). Bulgur kepeği, mısır kırması, pirinç kırığı, fasulye kırığı ve mercimek kırığında ise farklar önemsiz bulunmuştur (P>0,05). Böylece, söz konusu ürünler için iki farklı analiz metodunun şeker analizinde benzer sonuçlar verdiğinden bahsedilebilir.

Tablo 9. Alternatif yem hammaddelerinin, şeker (%) ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | Şeker, % | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|-----------------|------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 4,93±0,184 | 3,92±0,121 | 5,73 | 0,029* |
| Bulgur Kepeği | 5,52±0,370 | 4,39±0,242 | 3,92 | 0,059 |
| Mısır Kırmacı | 1,93±0,050 | 2,15±0,157 | -3,62 | 0,069 |
| Nohut Kırığı | 5,19±0,156 | 4,36±0,329 | 5,89 | 0,028* |
| Pirinç Kırığı | 1,42±0,096 | 0,79±0,176 | 4,11 | 0,054 |
| Fasulye Kırığı | 4,09±0,159 | 4,74±0,192 | -3,20 | 0,085 |
| Mercimek Kırığı | 2,28±0,241 | 1,64±0,117 | 3,78 | 0,063 |
| Mercimek Kepeği | 1,82±0,056 | 1,27±0,151 | 4,56 | 0,045* |

*P<0,05

Hammaddelerin iki farklı yöntemle elde edilen analiz sonuçlarından hesaplanan ME (kcal kg⁻¹) değerleri karşılaştırıldığında yalnızca Mısır kırmacı için farklılık istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (P>0,05; Tablo 10). Bunun sebebi olarak, mısır kırmacısının nişasta içeriğinin iki farklı analiz yöntemiyle de benzer sonuç vermesinden kaynaklandığı görülmektedir (Tablo 8). Diğer hammaddeler için farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P<0,01).

Tablo 10. Alternatif yem hammaddelerinin, ME ortalama değerleri ve standart sapmaları

| | ME (kcal kg ⁻¹ , Kanatlı hayvanlar için) | | T-Değeri | P Değeri |
|-----------------|---|-------------|----------|----------|
| | Kimyasal Analiz | NIRS | | |
| İrmik Altı | 1794,45±12,6 | 3059,2±32,3 | -48,93 | 0,000** |
| Bulgur Kepeği | 1332,68±11,7 | 2812,2±20,3 | -229,29 | 0,000** |
| Mısır Kırmacı | 3140,44±222,0 | 3211,0±39,0 | -0,57 | 0,628 |
| Nohut Kırığı | 2358,65±16,4 | 3140,6±58,6 | -18,49 | 0,003** |
| Pirinç Kırığı | 2635,13±18,7 | 3454,7±36,6 | -26,51 | 0,001** |
| Fasulye Kırığı | 1763,25±20,9 | 2783,9±21,9 | -190,26 | 0,000** |
| Mercimek Kırığı | 2209,78±16,7 | 3020,5±36,9 | -47,87 | 0,000** |
| Mercimek Kepeği | 1684,68±12,2 | 1262,1±24,9 | 21,33 | 0,002** |

**P<0,01

Çalışmada kullanılan tahıl ve baklagil endüstrisi işleme yan ürünlerinin, hayvan beslemede rasyonda kullanım oranları belirlenirken, içerdikleri anti-besleme faktörlerinin de göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır (Yalçın, 2013). Fakat, bu tür işleme artığı ve elek-altı materyallerin yemlerde kullanımlarının yaygınlaşması, yem maliyetlerinin azaltılmasına bu sayede ekonomik ve sürdürülebilir bir hayvancılık yapılabilmesine olanak sağlayabilecektir.

NIRS tekniği; hızlı ve doğru sonuç vermesi sayesinde yaygınlaşmış bir tekniktir. Bununla birlikte, cihazın doğru sonuç verebilmesi için temel dayanaklarının cihazın kalibrasyonu, ürünün homojenliği ve selüloz içeriğinin olduğu bildirilmiştir (Pehlevan, 2014). Kullandığımız alternatif yem hammaddelerini temsil edecek uygun kalibrasyonunun yapılamaması ve elek altı ürün olan örneklerin homojen olup olmaması, NIRS sonuçlarının kimyasal analizleri yansıtmamasının sebepleri olabilir. Elbirlik ve Özdoğan (2021), karma yemlerde yürüttükleri çalışmalarında ise NIRS ile yapılan besin madde analizlerinde, örnek sayısının daha yüksek tutulması ve kontrol ayarlarında daha hassas hareket edilmesi gerektiğini, bu sayede yemlerin içeriklerinin daha yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Sonuç ve Öneriler

Çalışmada elde edilen kimyasal ve NIRS analizlerinin karşılaştırmalı sonuçları incelendiğinde; kalibrasyonun, tekerrür sayısının ve materyalin homojenliğinin öneminin ve etkilerinin göz önünde tutulmasının gerekliliği görülmektedir. NIRS cihazının, gıda işleme endüstrisi artık ürünlerini temsil eden örnekler kullanılarak uygun kalibrasyonunun yapılması ile analiz sonuçlarının doğruluğunun arttırılabileceği düşünülmektedir. Gıda endüstrisi yan ürünlerinin, yem hammaddelerine alternatif olarak kullanılması ile ilgili daha fazla çalışmalara ve hayvan denemelerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun yanısıra, hammaddelerin içeriğinin NIRS ile doğru ve etkili bir şekilde saptanabilmesi için her bir alternatif ürün için daha fazla örnek bilgisinin girilmesi yararlı olacaktır. Araştırmada kullanılan tahıl ve baklagil endüstrisi işleme yan ürünleri ile ilgili literatür taramasında benzeri bir çalışmaya rastlanamamış olup, bulgularımızın sonraki çalışmalara referans olabileme niteliği taşıyacağı düşünülmektedir.

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

- Alçiçek A., Akkan S., Özkan K., Taluğ M., Karaayvaz K., Basmacıoğlu H. Konserve sanayi yan ürünü bezelye artıklarının silolanma imkanı ve yem değeri üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2002; 39: 72-79.
- Anıl H. Çarşamba ovasında şeker mısırın verim, verim unsurları ile bazı kalite karakterlerine şartın ve farklı ekim zamanlarının etkisi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 63, 1999; Samsun, Türkiye.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Washington D.C., USA, 1997.
- Barber GD., Givens DI., Kridis MS., Offer NW., Murray I. Prediction of the organic matter digestibility of grass silage. Animal Feed Science and Technology 1990; 28: 115-128.
- Carpenter KJ., Clegg KM. The metabolizable energy of poultry feeding stuffs in relation to their chemical composition. Journal of the Science of Food and Agriculture 1956; 7: 45-51.
- Close W., Menke KH. Selected topics in animal nutrition. In: A manual Prepared for the 3rd Hohenheim Course on Animal Nutrition in the Tropics and Semi-tropics (2nd ed.), Universitat, s. 170-185, Hohenheim, 1986.
- Dardenne P., Andrieu J., Barriere Y., Biston R., Demarquilly C., Femenais N., Lila M., Maupetit P., Riviereand F., Ronsin T. Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to

- sheep. II. Prediction of the in vivo organic matter digestibility. *Annales de Zootechnie, INRA/EDP Sciences* 1993; 42: 251-270.
- De Boever JL., Cottyn BG., De Brabander DL., Vanacker JM., Boucque CV. Prediction of the feeding value of maize silages by chemical parameters, in vitro digestibility and NIRS. *Animal Feed Science and Technology* 1997; 66: 211-222.
- Deaville ER., Givens DJ. Regions of normalised near infrared reflectance spectra related to the rumen degradation of fresh grass, grass silage and maize silage. *Animal Feed Science and Technology* 1998; 72: 41-51.
- Düzgüneş O., Kesici T., Gürbüz F., İstatistik Metodlar I. Ankara Üniversitesi Ziraata Fakültesi Yayınları, 861/229. Ankara, 1983.
- Elbirlik O., Özdoğan M. Yem formunun yakın kızılötesi yansıma spektroskopisi yöntemiyle süt sığırları karma yemlerinin besin madde değerlerine etkisinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2021; 58: 263-271.
- Grasser LA., Fadel JG., Garnett I., DePeters E. Quantity and economic importance of nine selected by-products used in California dairy rations. *Journal of Dairy Science* 1995; 78: 962-971.
- Güroçak AB., Yeldan M., Işık N. Soya küspesi yerine fındık küspesi kullanılan rasyonların, kasaplık piliçlerin verimine etkileri üzerine bir araştırma. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı* 1982; 30: 469-484.
- İpçak HH., Özürtemen S., Alçiçek A., Özelçam H. Possible usage of alternative protein sources in animal nutrition. *Hayvansal Üretim* 2018; 59: 51-58.
- Kara K. Effect of dietary fibre and condensed tannins concentration from various fibrous feedstuffs on gas production kinetics with rabbit faecal inoculum. *Animal Feed Science and Technology* 2016; 25: 266-272.
- Kirk RS., Sawyer R. *Pearson's Composition and Chemical Analysis of Foods*. 9th Ed. Longman Scientific & Technical. Essex. England, 1991.
- Minitab Statistical Software. Version: 13.2, Minitab Inc., PA, USA, 2000.
- Norris KH., Barnes RF., Moore JE., Shenk JS. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal Science* 1976; 43: 889-897.
- Park RS., Gordon FJ., Agnew RE., Barnes RJ., Steen RWJ. The use of near infrared reflectance spectroscopy on dried samples to predict biological parameters of grass silage. *Animal Feed Science and Technology* 1997; 68: 235-246.
- Pehlevan F. Bazı alternatif yemlerin kimyasal kompozisyonunun tahmini için NIRS kullanımı. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 57, Aydın, Türkiye, 2014.
- Redshaw ES., Mathison GW., Milligan LP., Weisenburger RD. Near infrared reflectance spectroscopy for predicting forage composition and voluntary consumption and digestibility in cattle and sheep. *Canadian Journal of Animal Science* 1986; 66: 103-115.

- Shenk JS., Westerhaus MO. Accuracy of NIRS instruments to analyse forage and grain. *Crop Science* 1985; 25: 1120-1122.
- Soysal Mİ. *Biyometrinin Prensipleri (İstatistik I ve II Ders Notları)*. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No:95, Ders Notu No:64, Tekirdağ, 2000.
- Stuth J., Jama A., Tolleson D. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research* 2003; 84: 45-56.
- Şenköylü N. *Modern Tavuk Üretimi (gözden geçirilmiş ve genişletilmiş) 3. Baskı*, s. 538, Tekirdağ, 2001.
- Türkiyem-Bir (Türkiye Yem Sanayicileri Birliği) *Karma Yem Sanayii Raporu 2019*. Poyraz Ofset Matbaacılık, Ankara, 2019.
- Türkiyem-Bir (Türkiye Yem Sanayicileri Birliği). *Yem AR&GE*. *Yem Magazin* 2020; 89: 22-25.
- Ulyatt MJ., Lee J., Corson D. 1995. Assessing feed quality. *Ruakura Farmers Conference* 1995; 47: 59-62.
- Vasta V., Nudda A., Cannas A., Lanza M., Priolo A. Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 2008; 147: 223-246.
- Williams PC., Sobering D. 1993. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 1993; 1: 25-32.
- Yalçın S. *Yemlerde antinutrisyonel faktörler. Yemler ve Yem Hijyeni ve Teknolojisi, Genişletilmiş 5. Baskı*, s.261-286, Ankara Üniv., Veteriner Fakültesi, Ankara, 2013.
- Yaralı E. *Tahıl teknolojisi II, Ders Notları*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, <https://akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/File/ders%20notlari/Tahil%20Teknolojisi%20II.pdf>, 2018 (Erişim tarihi: Ocak 2021).

Çatı Tipi Güneş Enerji Sisteminde Kızılötesi Termal Teşhis ile Arıza Tespiti ve Önemi

Hale BAKIR^{1*}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas

¹<https://orcid.org/000-0001-5580-0505>

*Sorumlu yazar: halebakir@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.04.2022

Kabul tarihi: 07.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kızılötesi termal teşhis

Arıza tespiti

Enerji üretiminde iyileştirme

Sürdürülebilir bir enerji

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de fotovoltaik santrallerdeki arıza türlerini görmek ve yatırımcılara ve işletmelere enerji üretimindeki iyileştirmeler hakkında daha iyi ve daha hızlı analizlerle bilgi vermektir. Kızıl ötesi termal teşhis ve termal görüntü işleme ile saha alanlarında tespit edilen arızaların sonuçlarının bir tartışmasını sunmaktadır. Türkiye'de kurulu güneş enerji santralinin gerçek zamanlı saha ölçüm sonuçlarını içermektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler yıllar içinde daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacakları için sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağı önemlidir. Dolayısıyla termal görüntüleme kullanan fotovoltaik enerji santrallerinde güç üretiminde daha iyi performans geliştirme ve iyileştirmeler sağlanmaktadır. Türkiye'de bulunan 600 kW 'lık güneş enerji sisteminde arıza tespiti yapılmış, arızaların nedenleri ve çeşitleri analiz edilmiştir. Ölçüm testlerine göre, termal drone ile elde edilen sonuçlarda 600 kW'lık güneş enerjisi sisteminde bağlantı hataları sorunu panellerin çalışmamasına neden olmaktadır. Bağlantı hatasının sistemi önemli ölçüde etkilediği ve üretim açısından önemli bir etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. Sahada yaşanan teknik bağlantı hatası sorunu giderildiğinde %0,16'lık bir enerji üretiminde iyileştirme sağlanmıştır.

Fault Detection and Importance of Infrared Thermal Diagnostics in Rooftop Solar Energy System

Research Article

Article History:

Received: 29.04.2022

Accepted: 07.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Infrared thermal diagnostics

Fault detection

Improvement in power

generation

Sustainable energy

ABSTRACT

The main purpose of this study is to see the failure types in Turkey and to inform investors and businesses about the improvements in energy production in photovoltaic power plants with better and faster analysis. It presents a discussion of the consequences of faults detected in field areas with infrared thermal diagnostics and thermal image processing. It includes real-time field measurement results of the Solar power plant established in Turkey. A sustainable renewable energy source is important as developing countries like Turkey will need more energy over the years. Therefore, better performance enhancements and improvements are provided in power generation in photovoltaic power plants using thermal imaging. In the 600 kW solar energy system in Turkey, malfunctions were detected, the causes and types of malfunctions were analyzed. According to the measurement tests, the connection errors in the 600 kW solar energy system in the results obtained with the thermal drone cause the panels to not work. It is seen that the connection error affects the system significantly and has an important efficiency in terms of production. When the technical connection error in the field was resolved, an improvement of 0,16% was achieved in energy production.

To Cite: Bakır H. Çatı Tipi Güneş Enerji Sisteminde Kızılötesi Termal Teşhis ile Arıza Tespiti ve Önemi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 90-105.

1. Giriş

Büyük ölçekli endüstriyel teknolojiler ve artan nüfus ile birlikte kişi başına düşen enerji tüketimi sürekli büyümekte ve dünyadaki hemen hemen tüm ülkelerin enerji talepleri artmaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün elektrik olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca sınırlı kaynaklardan dolayı fosil yakıtlı elektrik üretimi kullanımı yüksek seviyelere ulaşmıştır. Buna bağlı olarak fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar artarak devam etmektedir (Madeti ve Singh, 2017).

Dünyada enerji tüketiminin artması ve fosil yakıtların çevre üzerindeki etkisi açısından insan toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarına (örneğin güneş, rüzgâr, jeotermal) ihtiyaç duymaktadır. Temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları arasında fotovoltaik (FV) enerji, güneş enerjisine erişilebilirlik açısından büyük ilgi görmektedir (Zhao ve ark., 2013) Böylece gelecekteki talep ile üretim arasındaki boşluk yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile karşılanacaktır (Madeti ve Singh, 2017). Güneş enerjisinden elde edilen sürdürülebilir enerji, konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda enerji talebini karşılamada önemli kaynaklardan biri haline gelmiştir (Ateş, 2022). Bununla birlikte, diğer endüstriyel işlemlerde de olduğu gibi, fotovoltaik sistemin imalatı sırasında yapılan hatalar, genel sistem performansının düşmesine ve hatta panelin tamamen çalışmaz duruma gelerek ciddi üretim kayıplarına sebep olur. Bu olumsuz sonuçlar verimi düşürecek ve meydana gelen arızalar santralin performansını ve hizmetlerini etkileyebileceği gibi kritik ve zararlı durumlara da neden olacaktır (Munoz ve ark., 2011).

Aslında uygun ve gerekli zamanda arıza tespiti yapılmazsa FV'deki arızalar güç kayıplarına neden olurken aynı zamanda tüm sistem için olası bir yangın tehlikesine neden olabilir. Bu hususlar dikkate alındığında FV sistemlerinin kontrolü ve arıza tespiti oldukça önemlidir (Zhao ve ark., 2013). Bunun için uygun ve erken arıza tespiti ve gerçek zamanlı teşhis, maliyet ve bakım süresini azaltır ve ayrıca enerji kaybını, ekipman hasarını ve güvenlik tehlikelerini önlemek için kritik öneme sahiptir. Genel olarak FV dizilerin arızaları, hücre çatlakları, delaminasyon, sıcak noktalar, kir birikmesi, modül uyumsuzlukları, modüllerin kısa devresi, hasarlı bağlantılardan kaynaklanan bağlantı kutusu arızaları, bağlantıların korozyonu, açık devre, kısa devre olarak sınıflandırılır. Aslında, bu kapsamlı bir liste olarak görülmemelidir. Literatürde başka birçok hata bulunabilir. Güneş enerjisi sistemlerinde arızalar ve bozulmalar genellikle hücrelerde, modüllerde veya dizilimlerde meydana gelir. Hücrelerdeki arızalar fiziksel hasar, su teması sonucu oluşan korozyon, ısıl basınç iken modüllerdeki arızalar genellikle hücreler arasında açık-kısa devre oluşumu ve koruma kaplamasının kaybolması gibi bağlantı uyumsuzlukları gibi problemlerdir (Takumi ve ark., 2003).

Güneş panelleri ile oluşturulan dizilerdeki düşük performansın nedenleri daha çeşitlidir. Bu sorunlardan en önemlileri; Modüller arası açık-kısa devreler, kurulum sırasında kablolama hataları, modüller arası parametre uyumsuzlukları ve kısmi gölgelenme gibi bağlantı sorunlarıdır. Bu arızaları tespit etmek için bazı yöntemler vardır. Üçü ayrılabilen bu yöntemler elektriksel, termal ve görsel olarak sınıflandırılabilir. Arızalı hücreler veya modüller, aşınma veya solmuş görünüşleri nedeniyle

görsel olarak tanımlanabilir. Termal yöntemler, aşırı ısınma veya bypass diyotun parlaklığını ayırt etmeye dayanır. En etkili termal yöntem termal kameralardır (Takashima ve ark., 2006).

Fotovoltaik sistemler için izleme, teşhis ve güç tahminindeki en son gelişmeler üzerine araştırmalar devam ediyor. Araştırmanın katkıları bazı alanlarda sınıflandırılmıştır (Daliotto ve ark., 2017). FV sistemlerinde arıza tespiti için önerilen her teknik, arıza tespiti için kullandıkları her yaklaşımda kavramsal farklılıklar içerir. Literatürde arıza tespit etkinliği analiz edilmekte ve sınıflandırılmaktadır (Henry ve ark., 2020). Arızalar, zaman özelliklerine göre kalıcı, aralıklı veya geçici ve yeni başlayan arızalar olarak gruplara ayrılır. Kalıcı arızaları önlemek için erken aşamalarda yeni arızaların hızlı tespit edilmesi gerekir (AbdulMawjood ve ark., 2018).

Ancak, fotovoltaik arızaların termal modelleri (sıcak nokta, arıza hücresi, açık devre, baypas diyotu ve polarizasyon) gerçek fotovoltaik panellerde incelenmeye devam etmektedir. Bazı çalışmalarda denetim maliyetlerini azaltmak ve verimli veri toplamayı sağlamak için yeni durum izleme sistemleri geliştirilmektedir (Segovia ve ark., 2022). Birkaç çalışmada, geliştirilen veri izleme sistemi (örn. Solarmon-2.0), Çek Cumhuriyeti'ndeki 65 FV santralinde ve dünya çapındaki birçok FV santralinde başarıyla kullanılmıştır (Libra ve ark., 2019). Bazı araştırmalarda, FV modül denetimi, FV izleme ve FV tanımlama olmak üzere iki adımda gerçekleştirilir. FV izleme adımı, FV hücreleri hava termografisi ile izlenmektedir. Diğer adımda, sıcak nokta ve FV modüllerinin durumu belirlenmekte ve ölçülmektedir (Jeon, 2020). Mevcut çalışmalarda halen fotovoltaik sistemler (FVS) için bir arıza tespit yöntemi önerilmektedir ve bu, sistemin normal ve hatalı çalışma koşullarını ayırt edebildiğini göstermektedir (Bonsignore ve ark., 2014). Bir çalışmada sistem, arıza tespiti için 1 MW'lık bir güneş enerjisi santralindeki (elektronik cihazların ışık kullanarak renk oluşturması) RGB ve termal görüntüleri değerlendirerek karşılaştırmıştır. Güney Kore, Suncheon'da, deneysel sonuçlar çalışmanın etkinliğini göstermektedir (Henry ve ark., 2020). Sonuç olarak görsel RGB ve termal ortomozaiklerde çatlak, Kirlilik ve sıcak noktalar gibi çeşitli görsel kusurlar tespit edilmiştir. Ek olarak, yarı otomatik sıcak noktaların tespiti bazı çalışmalarda geliştirilmiş ve sunulmuştur (Zefri ve ark., 2018).

Güncel çalışmalarda solar panellerde meydana gelen arızaların tespiti için testler yapılmaya devam etmektedir. Çalışmalarda hücre bozukluklar gibi arızaların tespiti için I-V eğri testi ve elektrolüminesans testleri yapılmaktadır (Dağlı, 2019). Fakat yapılan bu geleneksel arıza teşhis yöntemlerinde akım, gerilim, günlük enerji üretim değerlerinin diğer diziler ve eviricilerle karşılaştırılarak belirlenmesi, zaman ve verim gibi ciddi maliyetli kayıplara neden olmaktadır. Bu geleneksel yöntemlerle arıza tespiti sırasında da üretim kayıpları yaşanmaktadır. Örneğin gerilim/yalıtım ölçümü için o dizi veya inverterin enerjisi kesilerek gerekli ölçümler yapılır. Drone ile yapılan termal çekimlerde anlık müdahaleler ile bu süreler dakikalara indirilmektedir.

Fotovoltaik santraller için izleme ve arıza tespit sistemlerine yönelik araştırmalar, teknolojilerdeki sürekli gelişme ve nitelikli verilerin mevcudiyeti ile önemli ölçüde artmaktadır (Yurtseven ve ark., 2021). Yapılan son çalışmalarda IRT testi ile tespit edilen arıza türleri esas olarak aktif bypass diyotlarından kaynaklanmakta ve çalışmayan modüller (bağlantı hataları) ve diziler üzerindeki sıcak

noktalar, anormal şekilde ısıtılan kablolar/sigortalar/kesicilerden meydana geldikleri tespit edilmektedir (Cubukcu ve Akanalci, 2020). FV sistemin verimliliğini artırmak için yapılan güncel çalışmalarda hata tespiti için topluluk öğrenmesi temelli modeller kullanılarak hataları sınıflandırılması veya algoritmalar kullanılarak fotovoltaik sistem hata tespiti için güçlü bir yöntemin bulunmaya çalışılması devam eden güncel bir konudur (Kapucu ve Cubukcu, 2019).

Bu çalışmanın ana katkıları şunlardır:

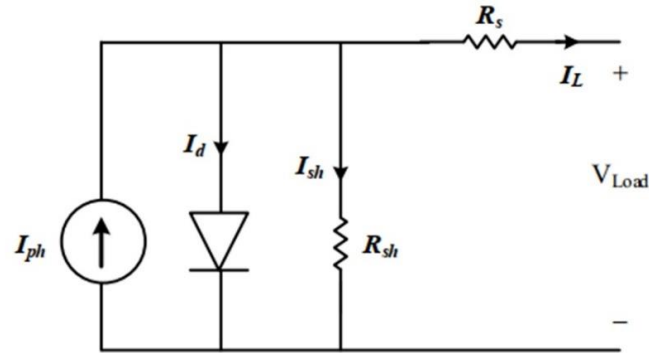
1. Kullandığımız termal drone, büyük ölçekli bir FV sistemindeki hatalı FV modüllerini tespit edebilir ve tam olarak bulabilir.
2. Çalışma, pratik fizibilitesini gösteren 600 kW'lık bir FV sisteminde gerçek bir ortamda uygulandı.
3. Uygulama ile Türkiye'deki güneş santrallerinde meydana gelen arıza türleri gözlemlenmiştir.
4. Sonuçları karşılaştırıldığında, bağlantı hatasının panelleri önemli ölçüde etkilediği, verimlilik ve enerji üretimi açısından önemli olduğu görülmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir; FV sistemler ve FV arıza türleri ve sistem yapısı açıklanmış ve kullanılan termal drone ve ölçüm değer bilgileri, güneş enerjisi sistemleri Bölüm 2'de sunulmuştur. Deneysel sonuçlar ve tartışma Bölüm 3'te sunulmuştur. Sonuçlar bu çalışmanın son bölümünde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Fotovoltaik Sistemler

Temel bir FV sistemi dört bölümden oluşur: FV dizisi, güç regülatörü, depolama sistemi ve FV invertörüdür. Şekil 1, bir güneş pilinin eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 1. Bir güneş pilinin eşdeğer devresi

Tek diyot eşdeğer devresi, fotoakım I_{ph} 'yi enjekte etmek için bir akım kaynağından, I_d diyot akımı ile gösterilen tek bir diyottan ve güneş pili yapısının mevcut I_{sh} 'sini sınırlamak için bir şönt direnç R_{sh} 'den oluşur. Güneş pilinde üretilen ısı, hücrenin verimini düşürürken seri direnç R_s ile sunulur.

Güneş pili tarafından iletilen I_L şu şekilde ifade edilir (Singh, 2013):

$$I_L = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{V+I_L R_S}{nV_t}} - 1 \right] - \frac{V+I_L R_S}{R_{Sh}}, \quad (1)$$

PV sistemlerde arızalardan dolayı verim düşer ve kayıplar meydana gelir. Bir güneş enerjisi santralindeki arızalardan kaynaklanan üretim kaybının hesaplanması Denk.(2)'da gösterilmiştir ve üretim kaybındaki iyileşme yüzdesi Denk.(3) ile bulunur;

$$P_{loss} = n_{st} P_{pv} n_{fault} \quad (2)$$

P_{loss} üretim kaybını ifade ederken, n_{st} bir dizideki toplam panel sayısıdır, P_{pv} panel gücüdür (330 W) ve n_{fault} arızalı güneş paneli sayısıdır.

$$P_{imp} = \frac{P_{loss}}{P_{out}} 100 \% \quad (3)$$

P_{imp} enerji üretim iyileştirmesini ifade ederken, P_{loss} üretim kaybıdır ve P_{out} , panellerin çıkış gücüdür.

2.2. Fotovoltaik Arızalar

Genel olarak FV dizilerindeki arızalar, zaman özelliklerine göre kalıcı, başlangıç ve kesintili olarak gruplandırılabilir.

2.2.1. FV Dizi Bozulması

Hücre bozulması, cam ve hücreler arasındaki yapışkan malzemenin gerilemesi nedeniyle meydana gelir. Malzeme renginin beyazdan sarıya veya kahverengiye değiştirilmesi güneş pillerine daha az ışığın ulaşmasına neden olur ve üretilen gücü azaltır. Ayrıca, FV modülünün farklı katmanları arasında yapışma kaybolur ve bu boşluklara delaminasyon denir. Üretilen güçte delaminasyon ışık yansımaya ek olarak su penetrasyonunu artırır (Masmoudi ve ark., 2016). Bu tür arızalarda, bozulma %50'ye varan güç çıkışı kaybına neden olabilir (Bastidas ve ark., 2013).

2.2.2. Gölgeleme Hataları

FV panellerin etrafındaki ağaç veya bina gibi nesnelere, FV panel üzerine düşen gölgeleme nedeniyle hataya neden olacaktır. Gölgeleme, FV dizilerinin güç üreten çıkışını etkileyen çıkış voltajını azaltır. Kirlilik veya gölgeleme hatası, elektrik üretiminde %10'dan %70'e bir azalmaya neden olabilir (Maghami ve ark., 2016).

2.2.3. Noktasal Isınma Arızası

Güneş paneli içerisinde seri bağlanan hücrelerden herhangi birinin ürettiği akım diğer hücrelere göre daha düşük ise panel yük durumuna geçebilir ve gerilim tersine dönebilir. Böyle bir durumda güneş paneli yük durumunda çalıştığı için hücrenin sıcaklığı yükselmeye başlayacaktır. Bu duruma Sıcak Nokta Etkisi denir. Sıcak Nokta Isıtma Arızalarının olası nedenleri; Kuş pislikleri, Kırık paneller, Gölgeleme, Kirlilik, Mikro çatlaklar.

2.2.4. Bypass Diyot Arızası

Hücrelerin fabrika üretimi veya baypas diyotlarında oluşan kısa devre arızalarıdır. Kayıplar IV eğrisi (akım-voltaj eğrisi) ölçümleri ve EL (elektrolüminesans) testi yapılarak ölçülmelidir. Dizi arızasında panelin değiştirilmesi önerilir.

2.2.5. Bağlantı Hatası

Birbirine bağlı birden fazla panelin çalışmamasına neden olan durumdur. Olası nedenler; Arızalı inverterler, sigorta veya bağlantı kutusu sorunları, kablolama hataları, inverter, sigorta, bağlantı portları ve kabloların kontrol edilmesi önerilir.

2.3. Sistem Yapısı

2.3.1. Gelişmiş Termal Drone

Bu çalışmada DJI Mavic gelişmiş model drone kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan drone resmi Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi iki adet akıllı uçuş aküsü, gürültüsüz pervane, araç şarj cihazı, akü şarj ünitesi gibi parçalardan oluşan bu kitte ayrıca özel bir adet de çanta yer almaktadır. Diğer birçok modele göre daha sessiz çalışan ve daha uzun uçabilen bu model beklentileri karşılamaktadır. Rüzgârsız havada 72 km/h hızla uçabilen bu modelin uçuş süresi 31 dakikadır. Drone uçuşlarında engel tespiti son derece önemlidir. DJI Mavic gelişmiş drone modelleri çok yönlü engel algılama sistemlerine sahiptir. Bu sayede uçuş sürecini daha güvenli bir şekilde yapmak mümkündür. Engel bariyer sensörlerinin yanı sıra kamera özellikleri de bu drone modellerini çekici kılan unsurlardan biridir. 8 km uçuş mesafesine ve 12 MP kameraya sahip olan bu drone, 24-48 mm optik zoom kamera sistemi ile güvenilir görüntü yakalama konusunda son derece başarılıdır.



Şekil 2. DJI Mavic gelişmiş model drone



Şekil 3. Drone fiziksel yapısı

2.3.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi Santralleri

Bu çalışmada 600 kW'lık bir güneş enerjisi sisteminde termal drone ile arıza analizi ve tespitleri yapılmıştır. Sistemin drone görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Tablo 1'de, FV panelde sıcaklık farklarına göre önem sırası gösterilmektedir. Sıcaklık farkı, maksimum sıcaklık ile panel sıcaklığı arasındaki değeri ifade eder. Sıcaklık farkı 1 °C'nin altındaysa panel normaldir. Sıcaklık farkı 1 °C ile 4 °C arasında ise panel muayene edilmelidir. Sıcaklık farkı 4,0 °C ile 15 °C arasında ise panel onarılmalıdır. Sıcaklık farkı 15,0 °C'nin üzerinde ise panel acil müdahale edilmelidir. Tablo 2, 600 kW'lık güneş enerjisi sisteminin ölçüm değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Drone tarafından çekilen 600 kW GES görüntüsü

Tablo 1. FV panelde sıcaklık farklarına göre önem sırası

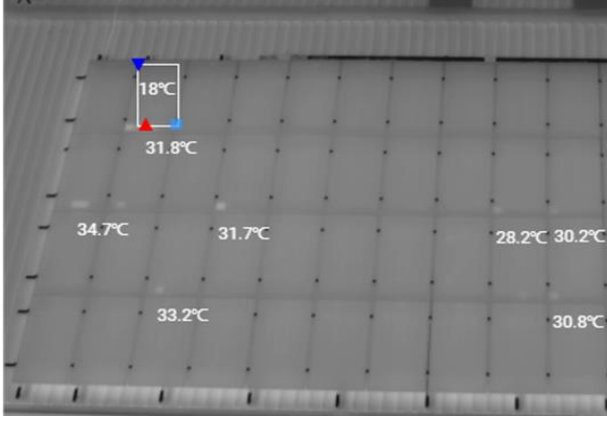
| Normal | İncelenmeli | Tamir edilmeli | Acil müdahale |
|---------|---------------|----------------|---------------|
| <1,0 °C | 1,0 to 4,0 °C | 4,0 to 15,0 °C | >15,0 °C |

Tablo 2. FV panelde ölçüm değerleri

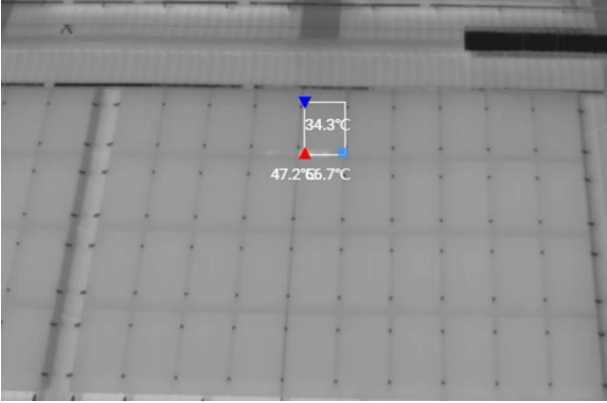
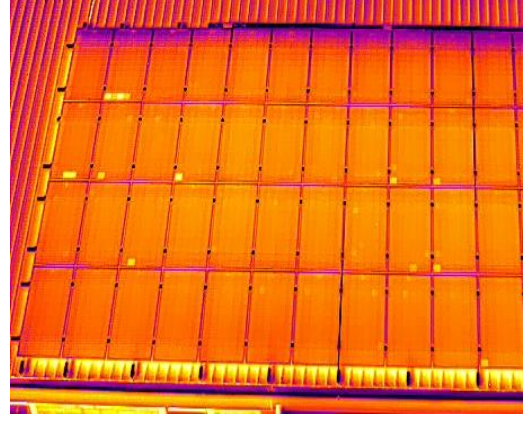
| | Ölçüm değerleri |
|-------------------|-----------------|
| Geçirgenlik | 0,91 |
| Yansıma sıcaklığı | 21,0 °C |
| Ölçüm mesafesi | 20-30 metre |
| Bağıl nem | 0,2 |
| Ortam sıcaklığı | 18 °C |
| Panel sıcaklığı | 38 °C |
| Işınım (W/M2) | 720 (W/M2) |

3. Deneysel Sonuçlar

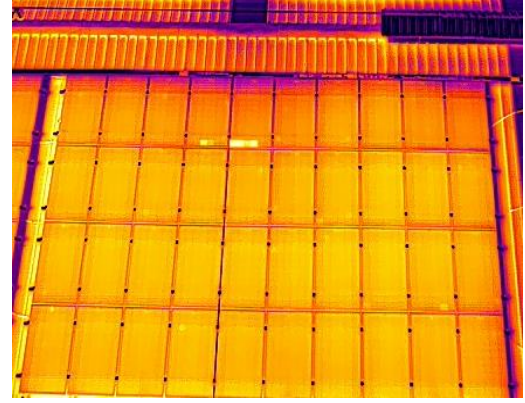
Sistem test edildiğinde, kızıl ötesi termal teşhis ile tespit edilen arızalı panelde arızanın olduğu bölge belirlenir ve DJI termal analiz aracı (DJI thermal analysis tool) kullanılarak ölçülen maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri bulunur. Sıcaklık farkı için önemli olan maksimum sıcaklıktır. Şekil 5 (a)'da gösterilen panelde maksimum 34,7 °C, minimum 28,2 °C olmak üzere bir kirlilik hatası tespit edilmiştir. Şekil 5 (b)'de gösterilen panelde maksimum 66,7 °C, minimum 34,3 °C olmak üzere bir kırık panel hatası daha tespit edilmiştir. Şekil 5 (c)'de gösterilen panelde maksimum 72,4 °C, minimum 50,2 °C olmak üzere bir noktasal kirlilik hatası daha tespit edilmiştir. Totalde 3 noktasal ısınma hatası tespit edilmiştir. Termal drone ile yapılan kızılötesi termal teşhis ile en açık sarı noktalarda noktasal ısınma hatası (hotspot fault) gözlenmiş ve şekillerde açıkça görülmektedir. Panellerin mukavemet ve konstrüksiyon kontrolü üç kez yapılmıştır. Her seferinde değiştirilmesine rağmen yeni kırıklar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, panellerin ve panel klemenslerinin birbiriyle uyumluluğunun Panel Üreticisi tarafından onaylanması önerilir. Panelleri konstrüksiyona bağlayan kenet cıvata ve somunlarının gevşek olduğu görülmüştür. Sahada % 20 sıkma vidasında korozyon olduğu görülmüştür. İleride sorun yaşamamak için bu kelepçe vidalarının değiştirilmesi önerilir. Sahadaki tüm dc toplama panoları, dizi girişleri ve sigortalar kontrol edilmiştir. Herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Alanda yapılan avlanma faaliyetleri sonucunda, tarlada kurşun veya saçmalardan dolayı kırılan panel olduğu tespit edilmiştir.



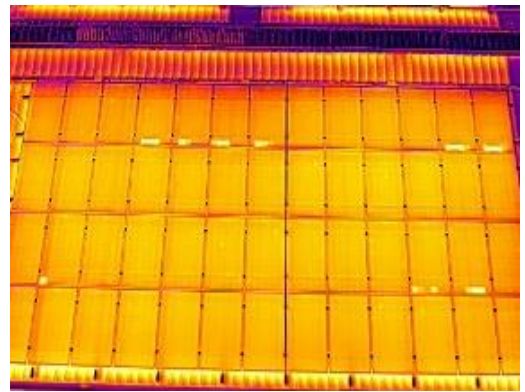
(a)



(b)



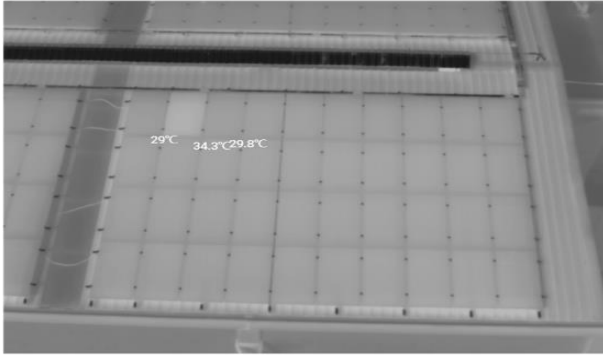
(c)



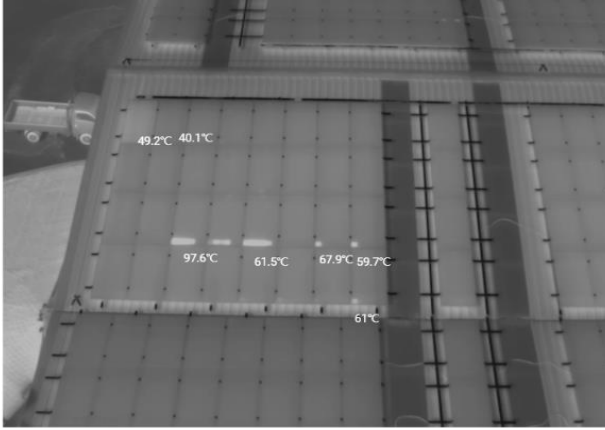
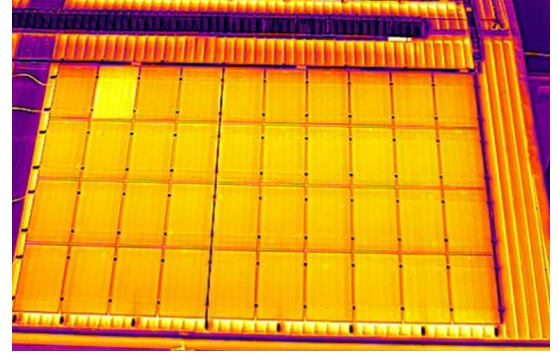
Şekil 5. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin kirlilik hatası

Şekil 6 (a)'da gösterilen panelde maksimum 34,3 °C, minimum 29,0 °C olmak üzere bir bağlantı hatası tespit edilmiştir. Şekil 6 (b)'de gösterilen panelde maksimum 49,2 °C, minimum 40,1 °C olmak üzere bir bağlantı hatası tespit edilmiştir. Şekil 6 (c)'de gösterilen panelde maksimum 56,6 °C, minimum 49,3 °C olmak üzere bir bağlantı hatası daha tespit edilmiştir. Diğer arızalara göre bağlantı hatası panelin çalışmamasına sebep olmakta ve bazı durumlarda tüm dizideki birbirine bağlı panellerin

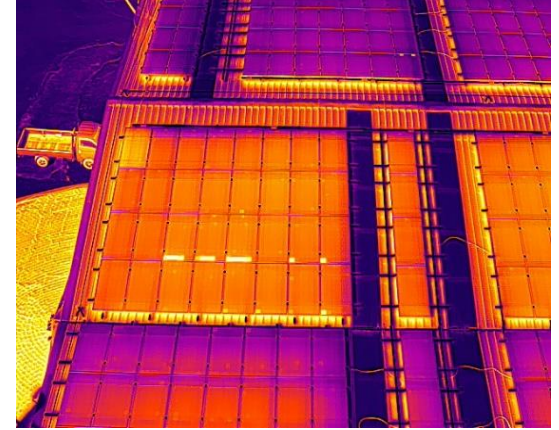
çalışmasını etkilemektedir. Bu yüzden enerji üretim kaybında ve verimliliği azaltmada en etkili arıza türlerindedir. Büyük güçlü santrallerde, havadan bir drone vasıtası ile kızılötesi termal teşhis ile hızlı tespiti önemlidir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağı önemlidir ve hızlı ve yerinde arıza tespiti ile sahada sorun çözülmelidir. PV panel pazarında rekabetçi hale gelen kızılötesi termal teşhis diğer yöntemlere (I-V eğri ölçümleri ve elektrolüminesans ölçümleri gibi) kıyasla, drone ile yapılan termal çekimlerde anlık müdahaleler ile arıza tespit süreleri dakikalara indirilmektedir. Termal görüntüler, 1000 kW'lık bir güneş enerjisi santralının 15 dakikalık uçuş ile drone ile termal görüntülenmesi ile elde edilmektedir. Drone'nun kumandasında bulunan ekran sayesinde daha raporlama yapılmadan anında giderilebilecek büyük arızalara sahada müdahale edilerek tekrar kontrol edilir.

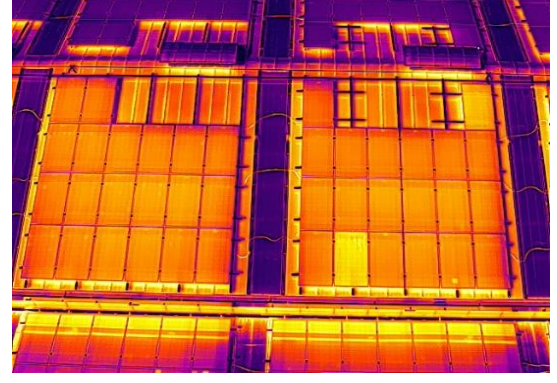
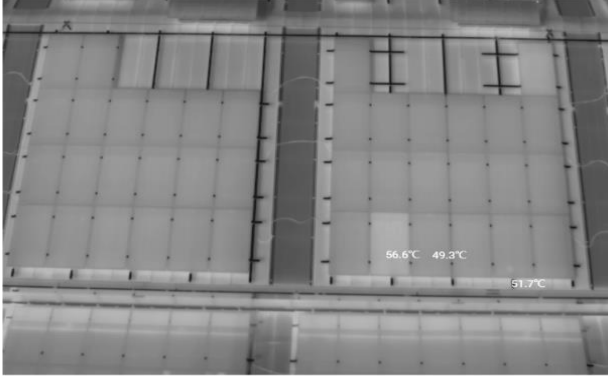


(a)



(b)

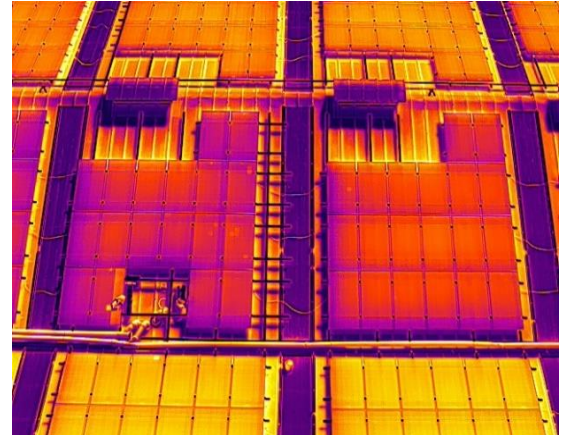
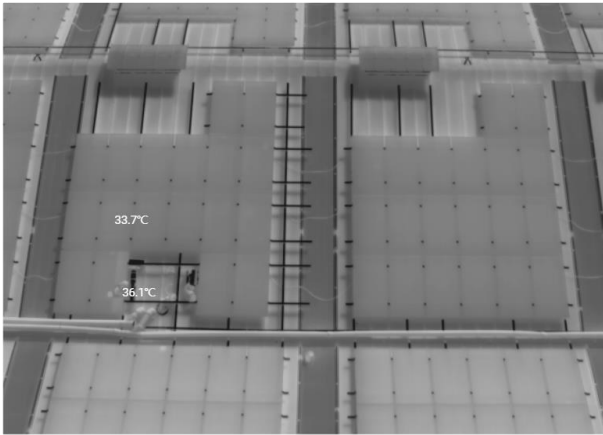




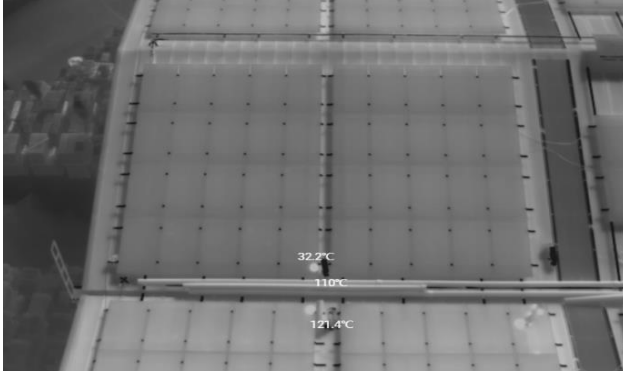
(c)

Şekil 6. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin bağlantı hatası

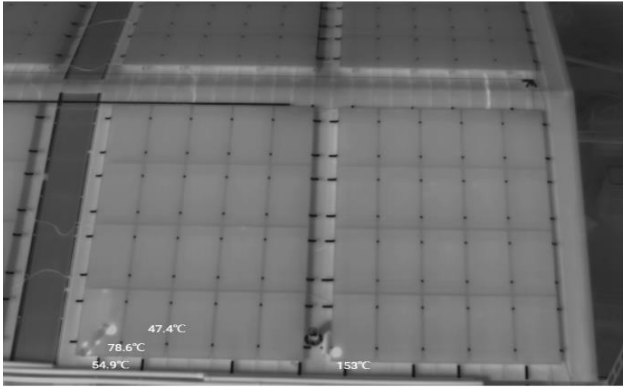
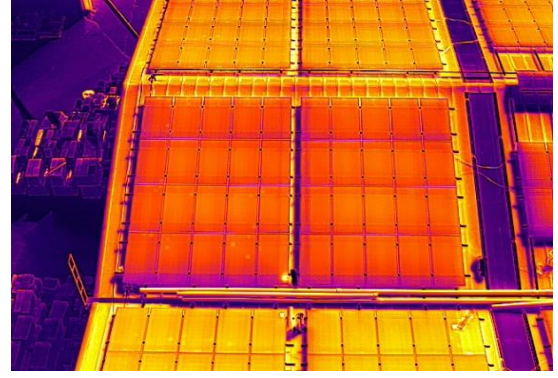
Şekil 7 (a)'da gösterilen panelde maksimum 36,1 °C, minimum 33,7 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası tespit edilmiştir. Şekil 7 (b)'de gösterilen panelde maksimum 121,4 °C, minimum 32,2 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası tespit edilmiştir. Şekil 7 (c)'de gösterilen panelde maksimum 78,6 °C, minimum 47,4 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası daha tespit edilmiştir. Şekil 7 (c)'de gösterilen panelde maksimum 58,6 °C, minimum 48,0 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası daha tespit edilmiştir. Paneller drone ile havadan fotoğraflanarak incelendiğinde, bazı bölgelerde gölgelenme olduğu panelin etrafındaki nesnelerin gölgelenmeye sebep olduğu görülmüştür. Panellerin bağlantı noktalarında ısınmaya bağlı olarak erime, paslanma ve renk değişimleri olduğu görülmüştür. Panellerde kullanılan kabloların 4 mm² güneş enerjisi kabloları olduğu görülmüş olup, bu kabloların minimum 6 mm² olması tavsiye edilir.



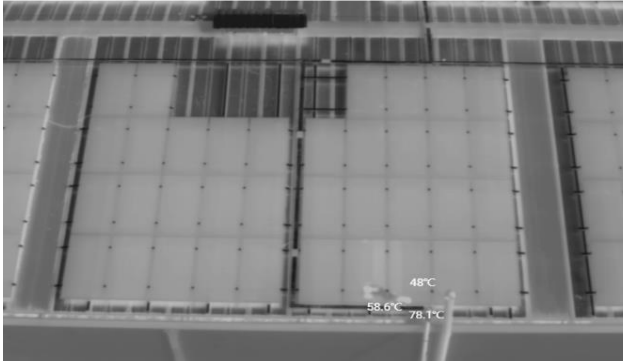
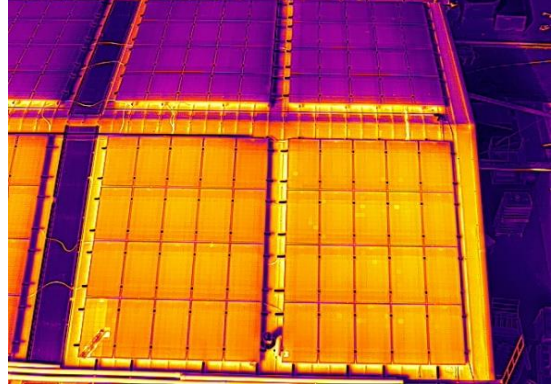
(a)



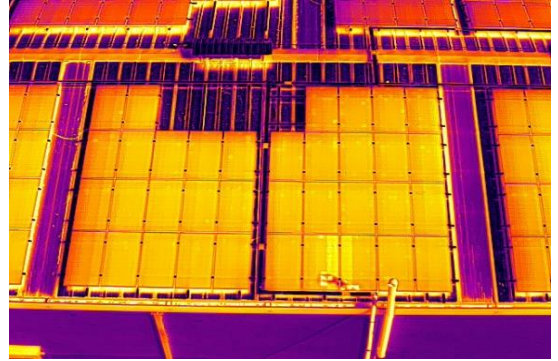
(b)



(c)



(d)



Şekil 7. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin gölgeleme hatası

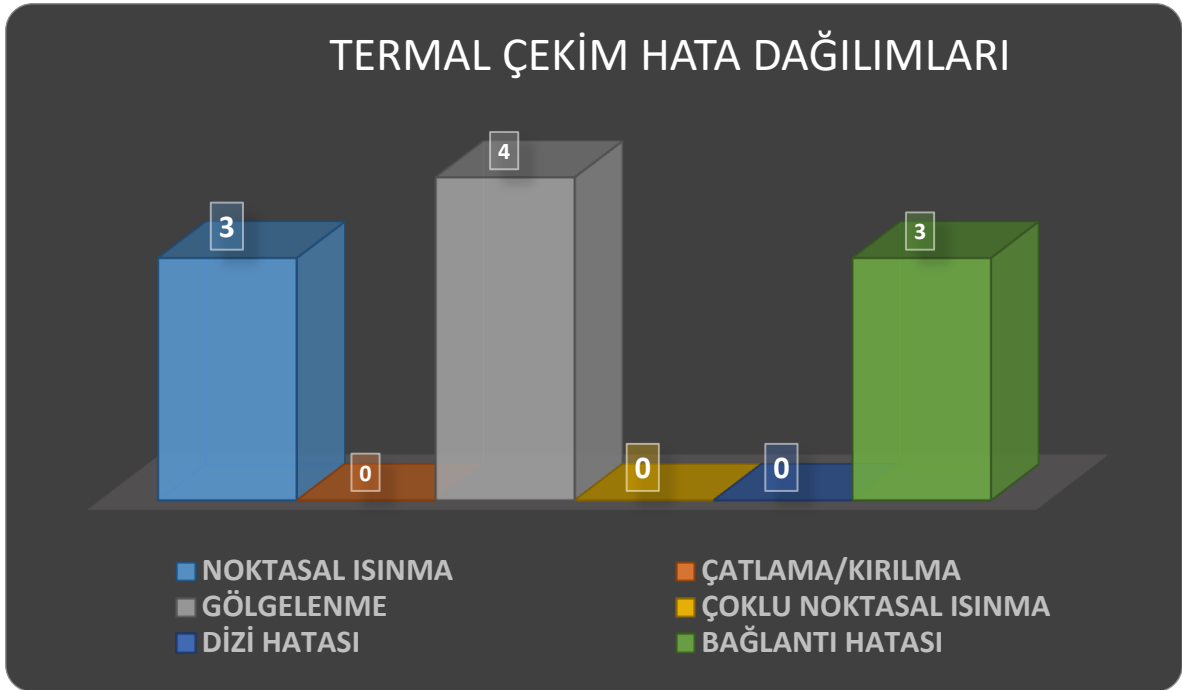
Yapılan tetkikler sonucunda sahalarda 3 adet Noktasal Isınma Hatası, 4 adet Gölgeleme Hatası, 3 adet Bağlantı Hatası tespit edilmiştir. Yapılan tetkikler sonucunda tüm sahada toplam Dizi Hatası tespit edilememiştir. Şekil 8 ve Şekil 9’da kirlilik ve gölgeleme fotoğrafları verilmiştir. Tespit edilen 10 hatanın tamamının termal fotoğraflarına yer verilmiş olup, hataların tamamı panel yerleşim haritalarında gösterilmiştir. Drone ile paneller üzerinde alınan termal çekim hata dağılımları Şekil 10’da verilmiştir. Mavi renkli bara 3 noktasal ısınma olduğunu, yeşil renkli bara 3 bağlantı hatası olduğunu ve gri renkli bara 4 gölgeleme hatası olduğunu gösterir.



Şekil 8. 600 kW güneş enerjisi sisteminin kirlilik resimleri



Şekil 9. 600 kW güneş enerjisi sisteminin gölgeleme resimleri



Şekil 10. Termal çekim hata dağılımları

600 kW'lık bir güneş enerjisi sistemindeki arızalardan kaynaklanan üretim kaybının hesaplanması ve üretim kaybındaki iyileşme yüzdesi Denk.(2) ve Denk.(3) ile bulunur. Teknik bağlantı arızası ve diğer arızalar sahada çözüldüğünde yaklaşık % 0,16'lık (bağlantı hatasından dolayı çalışmayan panel

sayısına göre 990 W'lık enerji üretim kaybına göre hesaplanmıştır) bir enerji üretimde iyileşme gerçekleşmektedir. Arızaların hemen tespiti ve termal görüntü ile hızlı çözüme ulaşılması enerji üretiminde önemli bir etki göstermektedir.

4. Sonuçlar

Geniş uygulama ve hatta ticari başarı sağlamak için PV santrallerin kızılötesi termal tabanlı teşhis gelecekteki bir hizmet özelliği olarak; Yalnızca kızılötesi termal teşhis görüntüleme yoluyla nitel (yani termal görüntü kalıpları) veya nicel (yani radyometrik veriler) bilgileri kullanan tam teşhis yeteneği, binlerce veya yüzlerce modülün maliyet ve zaman elektriksel ölçümlerine bağımlılığı sınırlandırılır. Havadan termografik incelemeler ve otomatik arıza tespiti için yapılandırılmış drone ile geniş alan ölçümleri yapabilme özelliği ile büyük ölçekli santrallerde pratiklik sağlar. Ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği iki şekildedir; Yerleşik standartlara ve teknik şartnamelere uygunluk ve tespit edilen kusurların doğrulanmasına yardımcı teşhislerdir (örn. görsel inceleme). Gerçekten de, çok umut verici ve canlı bir araştırma alanı olan kızılötesi termal tabanlı teşhis, büyük ölçekli PV santralleri için gereklidir. Bu çalışmada, Türkiye'de 600 kW güneş enerjisi sisteminde termal drone ile arıza analizi ve karşılaştırması yapılmıştır. Bir FV enerji sistemindeki hatalı FV modülleri tespit edilmiş ve kesin konumları belirlenmiştir. Çalışma, 600 kW FV enerji sisteminde gerçek bir ortamda uygulanmıştır. Uygulama ile Türkiye'deki güneş enerji santrallerinde meydana gelen arıza türleri gözlemlenmiştir. 600 kW güneş enerjisi sisteminde bağlantı arızasının panelleri önemli ölçüde etkilediği ve üretim açısından önemli bir verime sahip olduğu görülmektedir. Bağlantı hatası panelin çalışmamasına neden olan durumdur. Olası nedenler; arızalı inverterler, sigorta veya bağlantı kutusu sorunları, kablolama hataları, sigorta, bağlantı portları ve kabloların kontrol edilmesi önerilir. Sahada yaşanan teknik bağlantı arızası sorunu giderildiğinde 600 kW güneş enerjisi sisteminde üretimde % 0,16 iyileşme sağlanmıştır.

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

Abdulmawjood K., Refaat SS., Morsi WG. Detection and prediction of faults in photovoltaic arrays: A review. IEEE 12th International Conference on Compatibility-Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), 2018, sayfa no:1-8, Doha, Qatar.

- Ateş KT. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli ve kültürel algoritma modeli kullanılarak geliştirilen melez yöntem ile kısa vadeli fotovoltaik enerji santrali çıkış gücü tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5: 342-354.
- Bastidas Rodríguez JD., Petrone G., Ramos-Paja CA., Spagnuolo G. Photovoltaic modules diagnostic: an overview. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2013), 2013, sayfa no:96-101, Vienna, Austria.
- Bonsignore L., Davarifar M., Rabhi A., Tina GM., Elhajjaji A. Neuro-fuzzy fault detection method for photovoltaic systems. *Energy Procedia* 2014; 62: 431-441.
- Cubukcu M., Akanalci A. Real-time inspection and determination methods of faults on photovoltaic power systems by thermal imaging in Turkey. *Renewable Energy* 2020; 147(1): 1231-1238.
- Dağlı A., Karaköse E., Durmus A. Solar panellerde arıza analizi. *SETSCI Conference Proceedings* 2019; 4(1): 479-481.
- Daliento S., Chouder A., Guerriero P., Pavan AM., Mellit A., Moeini R., Tricoli P. Monitoring, diagnosis, and power forecasting for photovoltaic fields: a review. *International Journal of Photoenergy* 2017; 1-13, Article ID 1356851.
- Henry C., Poudel S., Lee SW., Jeong H. Automatic detection system of deteriorated pv modules using drone with thermal camera. *Applied Sciences* 2020; 10(11): 3802.
- Jeon H. Thermal image analysis for fault detection and diagnosis of PV systems. Purdue University Graduate School, Department of Computer and Information Technology Master Thesis, p 67, West Lafayette, Indiana, 2020.
- Kapucu C., Cubukcu M. Fotovoltaik sistemlerde topluluk öğrenmesi temelli hata tespiti. *Bilişim Teknolojileri Dergisi* 2019; 12(2): 83-91.
- Libra M., Daneček M., Lešetický J., Poulek V., Sedláček J., Beránek V. Monitoring of defects of a photovoltaic power plant using a drone. *Energies* 2019; 12(5): 795.
- Madeti SR., Singh SN. Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 67: 1180-1207.
- Maghami MR., Hizam H., Gomes C., Radzi MA., Rezadad MI., Hajjighorbani S. Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 59: 1307-1316.
- Masmoudi F., Salem FB., Derbel N. Single and double diode models for conventional mono-crystalline solar cell with extraction of internal parameters. 13th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 21-24 March 2016, pp: 720-728, Leipzig, Germany.
- Munoz MA., Alonso-García MC., Vela N., Chenlo F. Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions. *Solar Energy* 2011; 85(9): 2264-2274.
- Segovia Ramírez I., Das B., García Márquez FP. Fault detection and diagnosis in photovoltaic panels by radiometric sensors embedded in unmanned aerial vehicles. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2022; 30(3): 240-256.

- Singh GK. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. *Energy* 2013; 53: 1-13.
- Takashima T., Otani K., Sakuta K., Yamada T., Igarashi T., Hasegawa K., . . Yamaguchi T. Electrical detection and specification of failed modules in PV array. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Proceedings of, 11-18 May 2003, sayfa no:2276-2279, Osaka, Japan.
- Takashima T., Yamaguchi J., Otani K., Kato K., Ishida M. Experimental Studies of Failure Detection Methods in PV Module Strings. IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference, 07-12 May 2006, sayfa no: 2227-2230, Waikoloa, HI, USA.
- Yurtseven K., Karatepe E., Deniz E. Sensorless fault detection method for photovoltaic systems through mapping the inherent characteristics of PV plant site: Simple and practical. *Solar Energy* 2021; 216(1): 96-110.
- Zefri Y., ElKettani A., Sebari I., Ait Lamallam S. Thermal infrared and visual inspection of photovoltaic installations by UAV Photogrammetry—Application Case: Morocco. *Drones* 2018; 2(4): 41.
- Zhao Y., Lehman B., Ball R., Mosesian J., Palma J. Outlier detection rules for fault detection in solar photovoltaic arrays. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013, sayfa no: 2913-2920, Long Beach, CA, USA.

Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık SMRGT, ANFİS ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini

Serkan DEMİREL¹, Bestami TAŞAR², Yunus Ziya KAYA³, Fatih ÜNEŞ⁴, Mustafa DEMİRCİ⁵

^{1,2,4,5}İskenderun Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, Hatay

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2329-6476>

²<https://orcid.org/0000-0003-4842-3937>

³<https://orcid.org/0000-0002-4357-9177>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-5751-6970>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-3249-2586>

*Sorumlu yazar: serkandemirel.mfbe20@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

Tarihçe:

Geliş tarihi: 25.02.2022

Kabul tarihi: 16.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık
Basit üyelik fonksiyonları
Bulanık kural oluşturma tekniği
Adaptif sinirsel bulanık çıkarım
Çoklu doğrusal regresyon
Referans evapotranspirasyon
tahmini

ÖZ

Hidrolik tasarım süreci ve tarımsal sulama yönetiminde evapotranspirasyonun tahmini oldukça önemlidir. Bu çalışmada günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R), solar radyasyon (SR) parametreleri kullanılmıştır. Penman-Monteith, FAO (Food and Agriculture Organization) tarafından önerilen standart bir metottur. Bu metoda göre günlük evapotranspirasyon tahmini yapılmış (ET₀), referans olarak da Penman Monteith yöntemi kabul edilmiştir. Günlük evapotranspirasyon miktarının tahmini için Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (Bulanık SMRGT) ve Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi (ANFİS) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen değerler klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin sonuçları referans evapotranspirasyon değerleri ile kıyaslanmış ve her iki modelin de kararlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Estimation of Reference Evapotranspiration Amount Using Fuzzy SMRGT, ANFIS and Multiple Linear Regression

Research Article

History:

Received: 25.02.2022

Accepted: 16.07.2022

Available online: 10.03.2023

Keywords:

Fuzzy logic
Simple membership functions
Fuzzy rules generation technique
Adaptive neural fuzzy inference
Multiple linear regression
Reference evapotranspiration
estimation

ABSTRACT

Estimation of evapotranspiration is very important in hydraulic design process and agricultural irrigation management. In this study, average temperature (S), relative humidity (N), wind speed (R), solar radiation (SR) parameters were used to estimate the daily evapotranspiration amount. Penman Monteith method is a standard method recommended by the FAO (Food and Agriculture Organization). According to this method, daily evapotranspiration was estimated (ET₀) and Penman Monteith was accepted as the reference. Fuzzy SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique method) and Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) were used to estimate the daily evapotranspiration amount. The obtained values were improved with the results of Multiple Linear Regression (MLR), which is a classical method. The prediction results of the models were compared with the reference evapotranspiration values and it was determined that both models gave stable results.

To Cite: Demirel S., Taşar B., Kaya YZ., Üneş F., Demirci M. Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık Smrgt, Anfis ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 106-120.

1. Giriş

Evapotranspirasyon (ET), bir yüzey alanından atmosfere suyun buharlaşması ve bitkilerdeki terlemenin toplamı olarak tanımlanır. Su kaynaklarını geliştirmek, kontrol etmek ve yönetebilmek için evapotranspirasyon tahmininin doğru yapılması oldukça önemlidir. Bununla birlikte, buharlaşma süreci, doğada birçok değişkeni içeren doğrusal olmayan fiziksel bir süreçtir. Birçok araştırmacı, hidrolojik modelleme çalışmalarında doğru buharlaşma tahminlerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır (Sudheer ve ark., 2002; Demirci, 2019). Son yıllarda araştırmacılar, buharlaşma gibi doğrusal olmayan hidrolojik sorunlarla ilgili olarak bazı yapay zekateknikleri kullanmışlardır. Chen (2012) günlük referans evapotranspirasyonu tahmin etmek için destek vektör makinelerini kullanmış ve Penman-Monteith denklemi ve yapay sinir ağı modelleri ile karşılaştırmıştır. Kaya ve ark., (2016) M5T yöntemi ve Turc ampirik formülü kullanarak evapotranspirasyon tahmini yapmışlardır. Çalışmalarında 1543 günlük güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı meteorolojik veri okumaları kullanmışlardır. ET tahmini için geliştirilen yöntemlerin ve ampirik denklemlerin, hidrolojik bölgelerin farklı özelliklerine sahip değişken çıktılara sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Kaya ve ark., (2016) bir nöro-bulanık çıkarım sistemi ve Hargreaves-Samani ampirik denklemini kullanmışlardır. Hargreaves-Samani formülü için korelasyon katsayısını 0.874 ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi için 0.912 olarak hesaplamışlardır. Kılınç, (2004) İstanbul'a su temin etmek üzere planlanmış olan Yeşilçay Sistemi'ne ait barajlar olan Sungurlu, İsaköy ve Kabakoz barajları için klasik yöntemlerle yapılmış olan hazne işletme çalışmaları ile yapay sinir ağlarını kullanarak elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Doğan ve ark., (2007) çalışmalarında; YSA modellerini kullanarak Sapanca Gölü için günlük buharlaşma miktarının tahminini yapmışlardır. Traore ve ark., (2010) Sudano-Sahelian bölgesinde referans ET'yi modellemek için yapay sinir ağı kullanmışlardır. Shiri ve Kisi (2011) bulanık mantık (BM) yöntemiyle kısa süreli operasyonel su seviyesi tahmininde bulunmuşlardır. Gümüş ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada; Gen Ekspresyon Programlama (GEP), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemlerini kullanarak, Adana istasyonundaki aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmişlerdir. Her üç yöntemle farklı girdi parametre kombinasyonları oluşturularak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Taşar ve ark., (2018) Massachusetts, U.S.A Cambridge Hazne ve havzasındaki verilerinden yararlanarak, buharlaşma miktarını tahmini için Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanmışlardır. Arslan ve ark., (2020) Çoklu Doğrusal Regresyon ve Bulanık Mantık yöntemlerini kullanarak Keban Baraj gölünün günlük su seviyesi tahmini için elde ettikleri sonuçları gerçek gözlem verileriyle değerlendirmişlerdir. Ayrıca, hidrolojik problemleri çözmek için birçok araştırmacı farklı yapay zeka teknikleri kullanmışlardır. (Kumar ve ark., 2002; Zanetti ve ark., 2007; Gocić ve ark., 2015; Demirci ve ark., 2018; Gavili ve ark., 2018; Yihdego ve Webb, 2018; Bakır ve ark., 2019; MirásAvalos ve ark., 2019; Üneş ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020; Turhan, 2021)

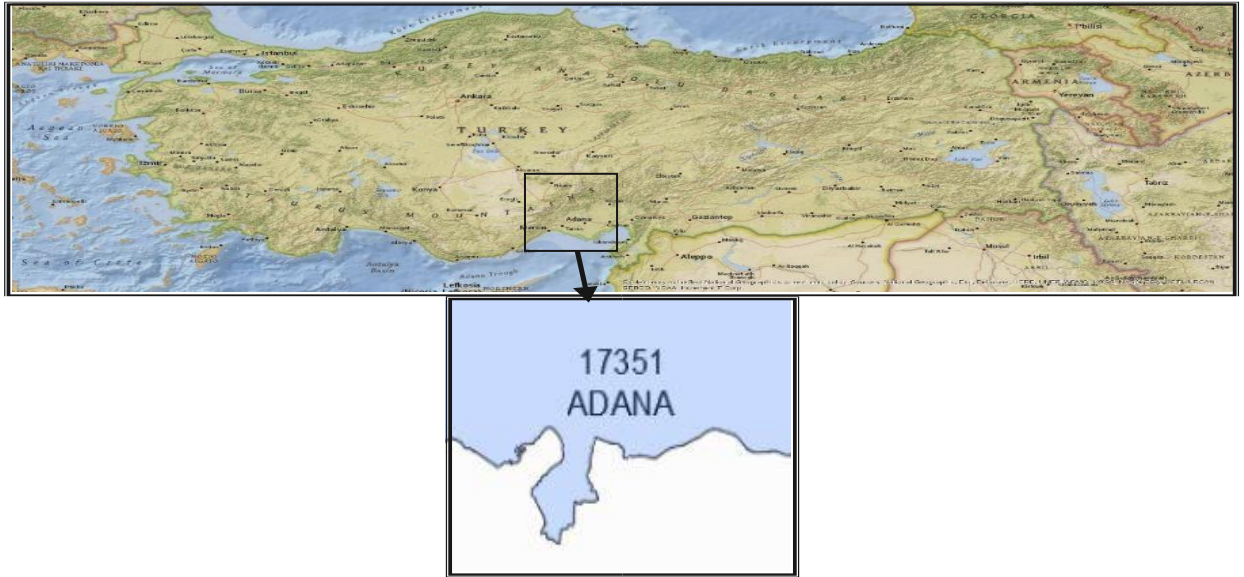
Bu çalışmada, evapotranspirasyon tahmininde yapay zeka yöntemlerinden olan Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (SMRGT) ve Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım

sistemi (ANFİS) ve klasik yöntemlerden olan Çoklu Doğrusal Regresyonun (ÇDR) uygulanabilirliği ve geçerliliği araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada Penman-Monteith FAO 56 denklemi referans denklem olarak kabul edilmiş ve diğer SMRGT, ANFİS ve ÇDR sonuçları PM FAO 56 denklemi ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, rakımı 23 m olan 37,0041 Kuzey paralelleri ve 35,3443 Doğu meridyeni üzerinde yer alan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilmekte olan 17351-Adana istasyonuna ait 2015-2021 yılları arası meteorolojik veriler kullanılmıştır. İstasyondan elde edilen 1966 verinin %75'i eğitim amacıyla, kalan %25'i ise test için kullanılmıştır. Tipik bir Akdeniz iklimine sahip olan Adana'da; kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Adana bölgesi; tarıma elverişli, geniş ve düz arazilere sahiptir. Bu bölgede buharlaşma; su kaynaklarının yönetim ve planlamasında rehber oluşturması, su kaynaklarının serbest su seviyesinin kontrolü, belirlenmesi ve işletilmesi açısından önemlidir. Bu istasyona ait aylık ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R) ve solar radyasyon (SR) değerleri farklı kombinasyonlar ile girdi parametresi olarak düzenlenmiş, bu istasyona ait günlük ortalama evapotranspirasyon değerleri farklı yöntemler ile tahmin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

3. Metod

3.1. FAO Penman-Monteith metodu

Jensen ve ark., (1990) tarafından belirtildiği üzere FAO Penman-Monteith denklemi aşağıdaki gibidir.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

Bu denklemde;

ET0; Referans evapotranspirasyonu [$mm\ gün^{-1}$],

Rn; Bitki yüzeyinde net radyasyonu [$MJ\ m^{-2}\ gün^{-1}$],

G; Toprak ısı akısı yoğunluğunu [$MJ\ m^{-2}\ gün^{-1}$],

T; 2m yükseklikteki ortalama günlük hava sıcaklığını [$^{\circ}C$],

u_2 ; 2m yükseklikteki rüzgâr hızını [$m\ s^{-1}$],

es; Doygun buhar basıncını [kPa], ea; Mevcut buhar basıncını [kPa],

es – ea; Doygun buhar basıncı açığı [kPa],

Δ ; Buhar basıncı eğrisi eğimini [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$],

γ : Psikrometrik sabiti [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$] ifade etmektedir.

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)

Doğada karşılaşılan olaylarda, olayı etkileyen birçok değişken mevcuttur. Bu değişkenler olayın var oluş şekline göre bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemiyle bu değişkenler arasındaki ilişkisi belirlenmeye çalışılarak tahminler yapılmıştır. (Turhan ve Çağatay, 2016) Tahmin sonuçlarının iyi olması değişkenler arasındaki ilişkinin lineer olduğunu göstermektedir. Aşağıda bu ilişkiyi kurmak için oluşturulan denklem verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_j X_j + \varepsilon \quad (2)$$

Burada, X_1, X_2, \dots, X_j bağımsız değişkenleri, Y bağımlı değişkeni, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j$ bilinmeyen regresyon katsayısı ve ε hata terimi olarak tanımlanmaktadır.

β_j Regresyon katsayısı denklemde görüldüğü gibi her bir X_j değerine bağlı olarak Y'deki birim değişikliğe karşılık gelmektedir.

3.3. Bulanık Mantık

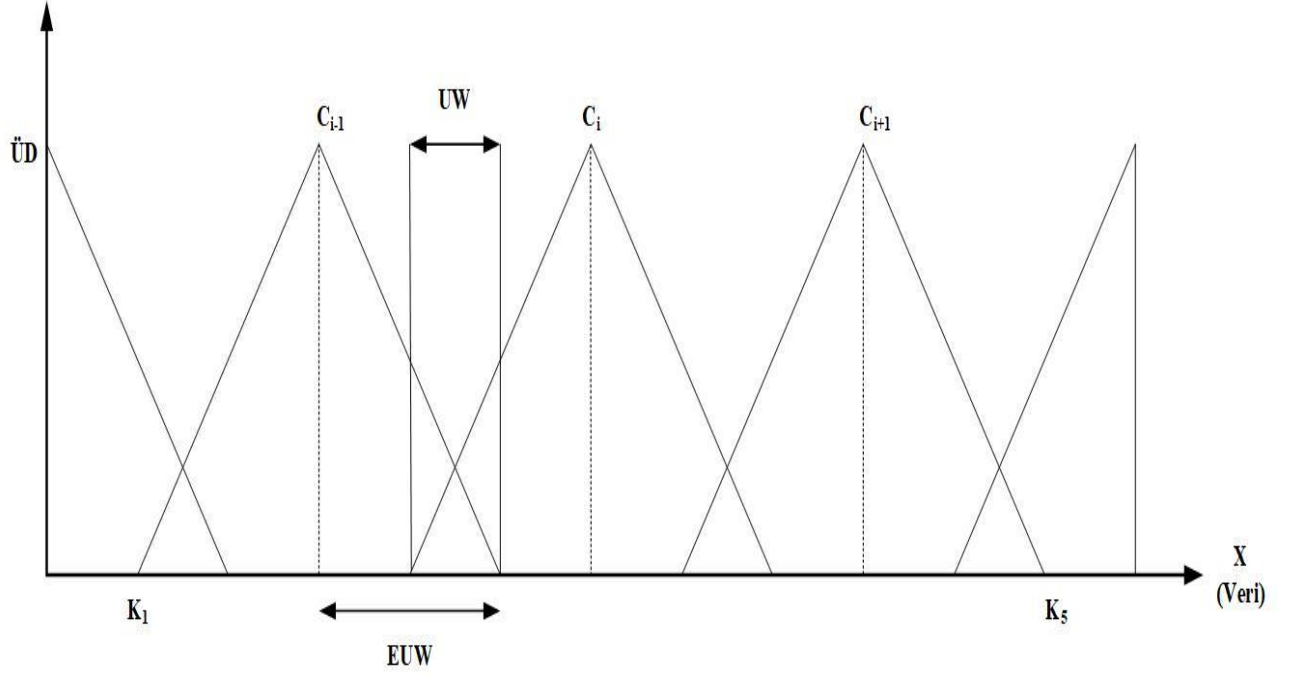
Gerçek hayatta çok karmaşık olayların belirli bir matematiksel ifadesi pek mümkün değildir. Bütün kuram ve denklemler gerçek hayatta yaklaşık olarak ifade edilmektedir. İncelenen olayların veya konuların tam ve kesin olarak bilinmemesi, bu belirsizliklerin sözel olarak daha anlaşılabilir hale gelmesi için geliştirilen mantığa Bulanık Mantık denilmektedir. Bulanık mantık sistemi; giriş, veri

tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım mekanizması, kural tabanı, durulaştırma birimi ve çıkış bölümlerinden meydana gelmektedir.

3.3.1 Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (SMRGT)

SMRGT yöntemi Toprak, (2009) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, diğer yöntemlerden farklı olarak bulanıklaştırılmış girdi parametrelerinin üyelik fonksiyonlarını ve bulanık kural tabanını belirli bir teknik ile yapmaktadır. Kullanılan teknik sayesinde fonksiyon aralıkları daha kolay belirlenebilmekte, işlem hacmi azalmakta ve model daha iyi sonuçlar verebilmektedir. (Üneş ve ark., 2020; Dayan ve ark., 2021) Bu yöntem oluşturma şekli ise aşağıdaki gibidir.

- Bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıkıtı) değişkenleri belirlenir. Her bir değişkenin belirli bir aralıkta olması gerekir. Bu aralık probleme ve uzman görüşüne dayalı olarak değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla aralığın belirlenebilmesi için değişkenlerin maksimum ve minimum değerlerinin bilinmesi gerekir.
- Bağımsız değişkenlerin her biri için üyelik fonksiyonları tayin edilir. Daha önceki yapılan çalışmalar neticesinde başta ve sondaki üyelik fonksiyonunun dik trapez veya dik üçgen, ortadaki üyelik fonksiyonlarının ise ikizkenar üçgen seçilmesinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- SMRGT çalışma yöntemi olarak baştaki ve sondaki üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleri arasında modellenmektedir. Bu yüzden ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak yapılan durulaştırmalarda hata oranını düşürmek için veri aralıklarının biraz daha genişletilmesi gerekebilmektedir.
- Tüm değişkenlerin üyelik fonksiyonları için birim genişliği (UW), genişletilmiş taban genişlikleri (EUW), kesişen iki komşu üyelik fonksiyonunun değeri (O) ve dik üçgen sayısı (n_U) hesaplanmalıdır. Bu değerlerin hesabı için de değişim aralığının (X_R) bilinmesi gerekir (Tablo 2).



Şekil 2. Üyelik Fonksiyon için çekirdek değer, anahtar değer ve birim genişliğin gösterimi

$$X_R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3)$$

$$UW = \frac{X_R}{n_U} \quad (4)$$

$$O = \frac{UW}{2} \quad (5)$$

$$EUW = \frac{X_R}{n_U} + O \quad (6)$$

Bu denklemlerde X her bir bağımsız değişkeni temsil etmekte ve her biri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Hesaplanan bu değerlerin kullanımıyla ise üyelik fonksiyonu için anahtar değerleri (K_n) ve çekirdek değeri (C_i) hesaplanır.

$$K_1 = X_{\min} + \frac{EUW}{3} \quad (7)$$

$$K_2 = \max - \frac{EUW}{3} \quad (8)$$

$$C_i = \frac{X_R}{2} + X_{\min} \quad (9)$$

$$C_{i-1} = \frac{C_i - X_{min}}{2} + X_{min} \quad (10)$$

$$C_{i+1} = X_{max} - \left(\frac{X_{max} - C_i}{2} \right) \quad (11)$$

- Yukarıdaki anahtar değerler ise oluşturulacak modelin girdi değerleridir.
- Hesaplamalar sonucu oluşturulan bulanık girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki tüm kombinasyonlar düşünülerek bulanık kural tabanı oluşturulur.
- Deneme-yanılma metodu nerdeyse hiç kullanılmayarak hazırlanan bu model, bilgisayar ortamında paket programlara aktarılarak tasarımı gerçekleştirilir.

Bulanık-SMRGT yöntemi ile yapılan bu çalışmada ise girdi olarak; ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R), solar radyasyon (SR) kullanılmıştır. Çıktı olarak ise evapotranspirasyon miktarı (ET) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3.3.2 Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi: (ANFİS)

İlk olarak Zadeh (1965) bulanık mantık modellerinde, girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar bulanık kurallar kullanılarak sağlanır. Literatürde Takagi-Sugeno olarak adlandırılan ANFIS (bulanık mantık) yöntemi çıktı üyelik fonksiyonlarını bulanık kümeler olarak alır. Her çıkış için bir bulanık küme oluşur. Kesin sonuçlar elde etmek için “Eğer” ve “İse” şeklinde önermeler oluşturulur.

Jang, (1993) tarafından geliştirilen ANFİS modeli, Hibrit öğrenme algoritması kullanmaktadır. Yapay sinir ağları ve bulanık çıkarım sistemi birleşiminden oluşur. ANFİS, evrensel bir yaklaşım metodolojisidir ve herhangi bir doğruluk derecesine göre kompakt bir sette sürekli fonksiyonu tahmin edebilir.

4. Model Sonuçları ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, Bulanık SMRGT, ANFİS ile ÇDR yöntemleri kullanılarak günlük evapotranspirasyon miktarının tahmini yapılmış ve elde edilen sonuçların performansları karşılaştırılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilmekte olan 17351-Adana istasyonuna ait 2015-2021 yılları arası meteorolojik veriler kullanılmıştır. İstasyondan elde edilen 1966 verinin %75’i eğitim amacıyla, kalan %25’i ise test için kullanılmıştır. Eğitim için 1476 günlük veri, test için 490 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Model karşılaştırma sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Her bir model için ortalama mutlak hata (OMH), ortalama hata karelerinin kökü (KOKH) ve korelasyon katsayıları (R) hesaplanmış ve bu değerlendirme kriterleri modellerin performans karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Tablo 1. Modellerin Performans Sonuçları

| MODEL İSİMLERİ | MODEL GİRDİLERİ | OMH | KOKH | R |
|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| ÇDR | S,N,R,SR | 0,153 | 0,206 | 0,994 |
| BULANIK SMRGT | S,N,R,SR | 0,304 | 0,383 | 0,981 |
| ANFIS | S,N,R,SR | 0,083 | 0,115 | 0,999 |

S: Ortalama sıcaklık, N: bağıl nem, R: rüzgâr hızı, SR: solar radyasyon

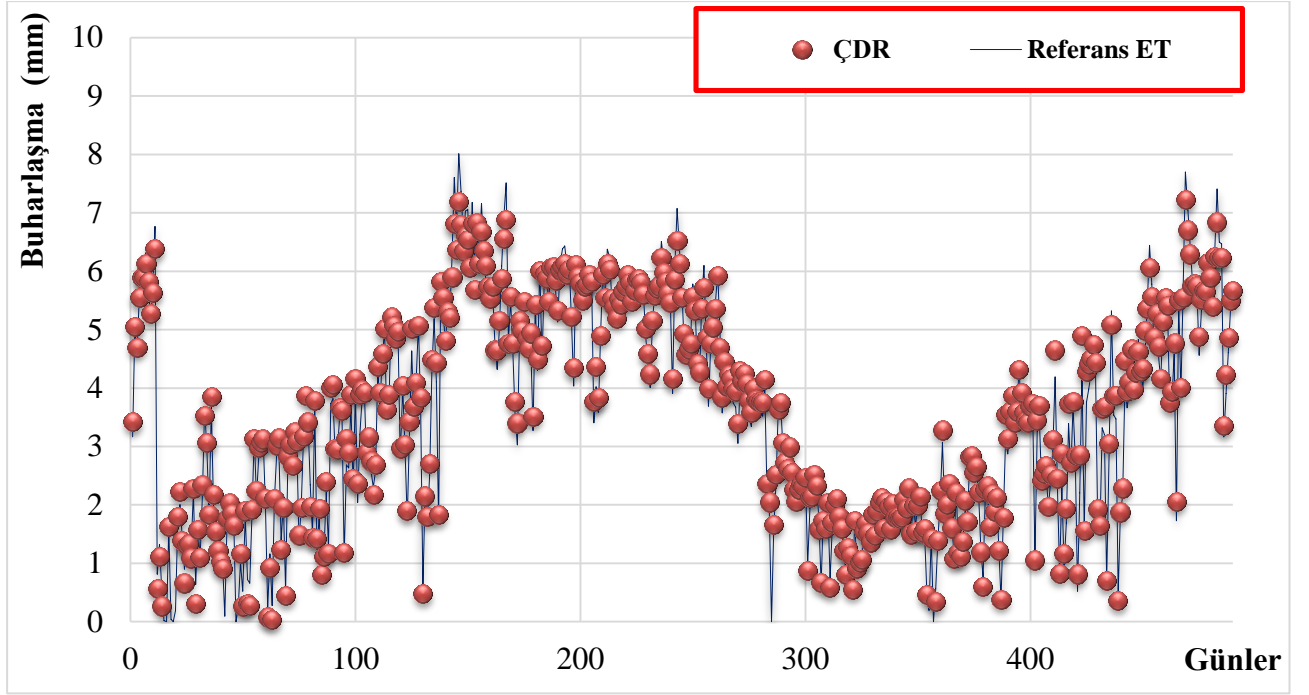
Evapotranspirasyon miktarını tahmin etmek için kullanılan modellerin başarısını belirlemek amacıyla denklem (12) ve (13)' de sırasıyla verilen ortalama mutlak hata (OMH), ortalama hata karelerinin kökü (KOKH) ve korelasyon katsayısı (R) kullanılmıştır. (Turhan ve ark., 2016; Özel ve Büyükyıldız, 2019; Gümüş ve ark., 2021) Burada N veri sayısını ve ET evapotranspirasyon miktarı değeri olmak üzere;

$$KOKH = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (ET_{ölçüm} - ET_{tahmin})^2} \quad (12)$$

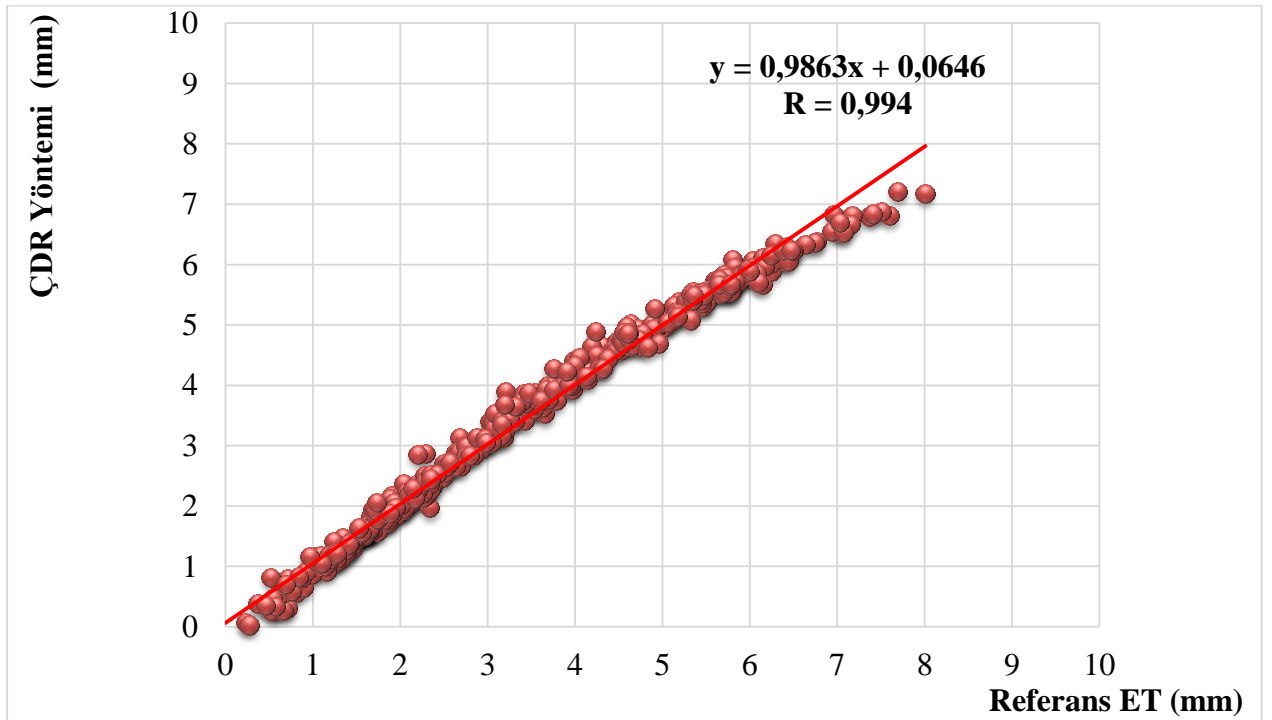
$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |ET_{ölçüm} - ET_{tahmin}| \quad (13)$$

4.1. Çoklu Lineer Regresyon Model Sonuçları

Bu çalışmada Çoklu Lineer Regresyon model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. ÇDR modelinin dağılım grafiği Şekil 3 ve saçılım grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, ÇDR modelin test verileri için uygulandığında model sonuçlarının gerçek değerlere yakın olduğu ve korelasyon katsayısının 0.994 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ÇDR dağılım grafiği

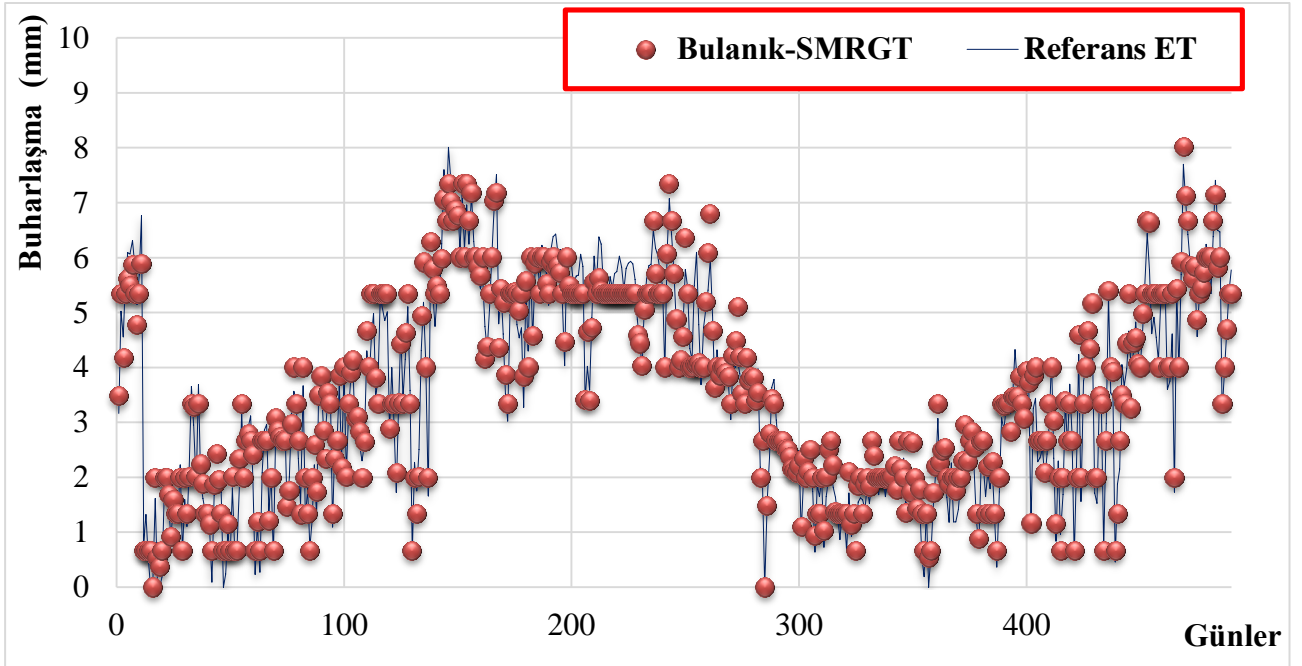


Şekil 4. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ÇDR saçılım grafiği

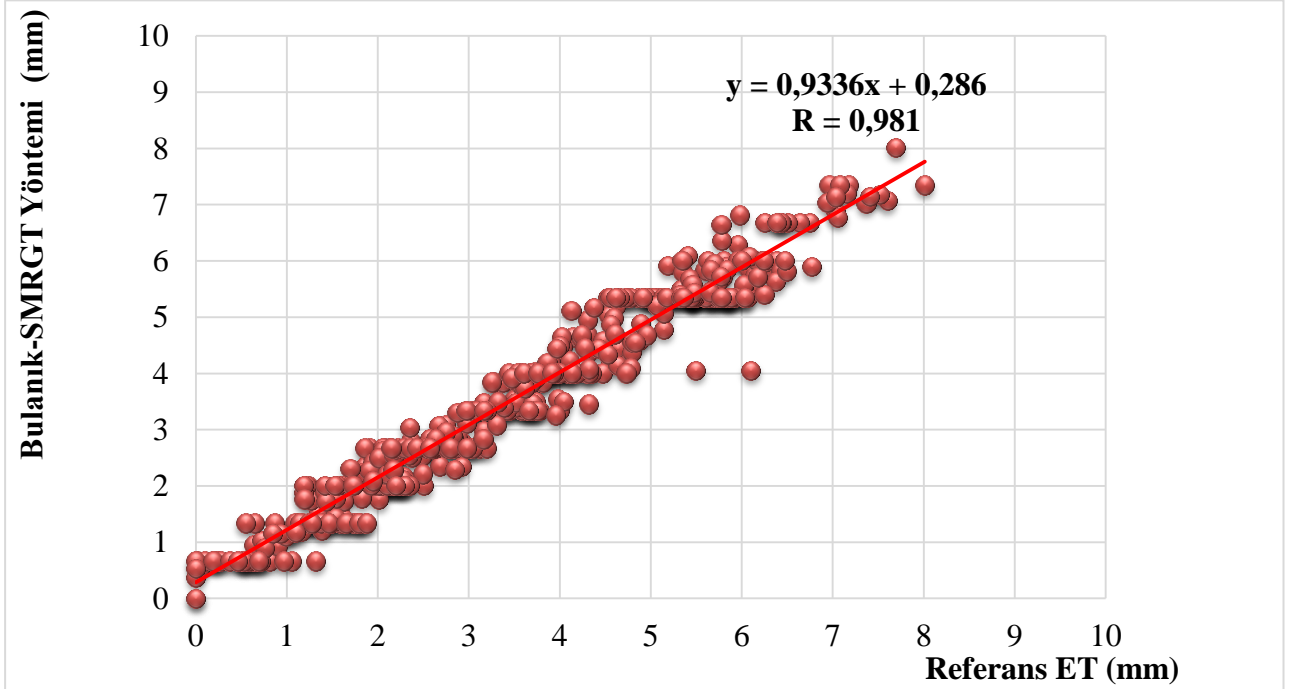
4.2. Bulanık SMRGT Model Sonuçları

Bu çalışmada Bulanık SMRGT model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük evapotranspirasyon miktarı, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. SMRGT modelinin dağılım grafiği Şekil 5 ve

saçılım grafiği Şekil 6 gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, SMRGT modeli test verileri için uygulandığında model sonuçlarının korelasyon katsayısının 0.981 olduğu görülmektedir.



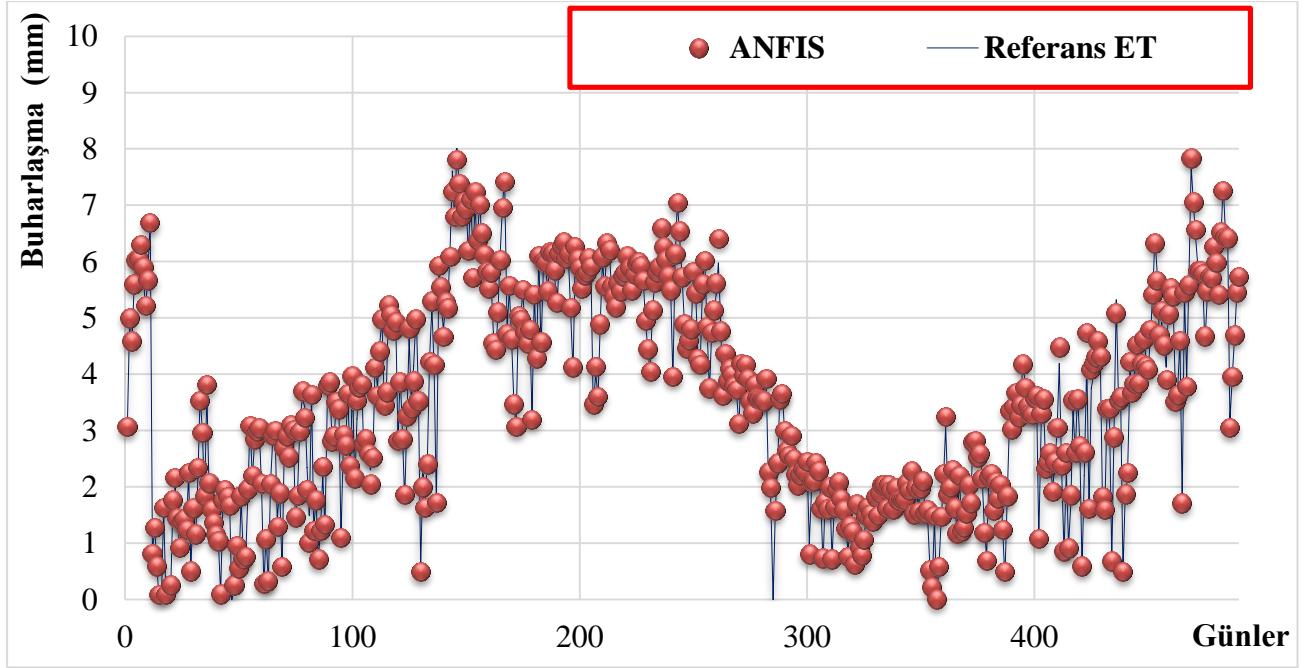
Şekil 5. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve Bulanık SMRGT dağılım grafiği



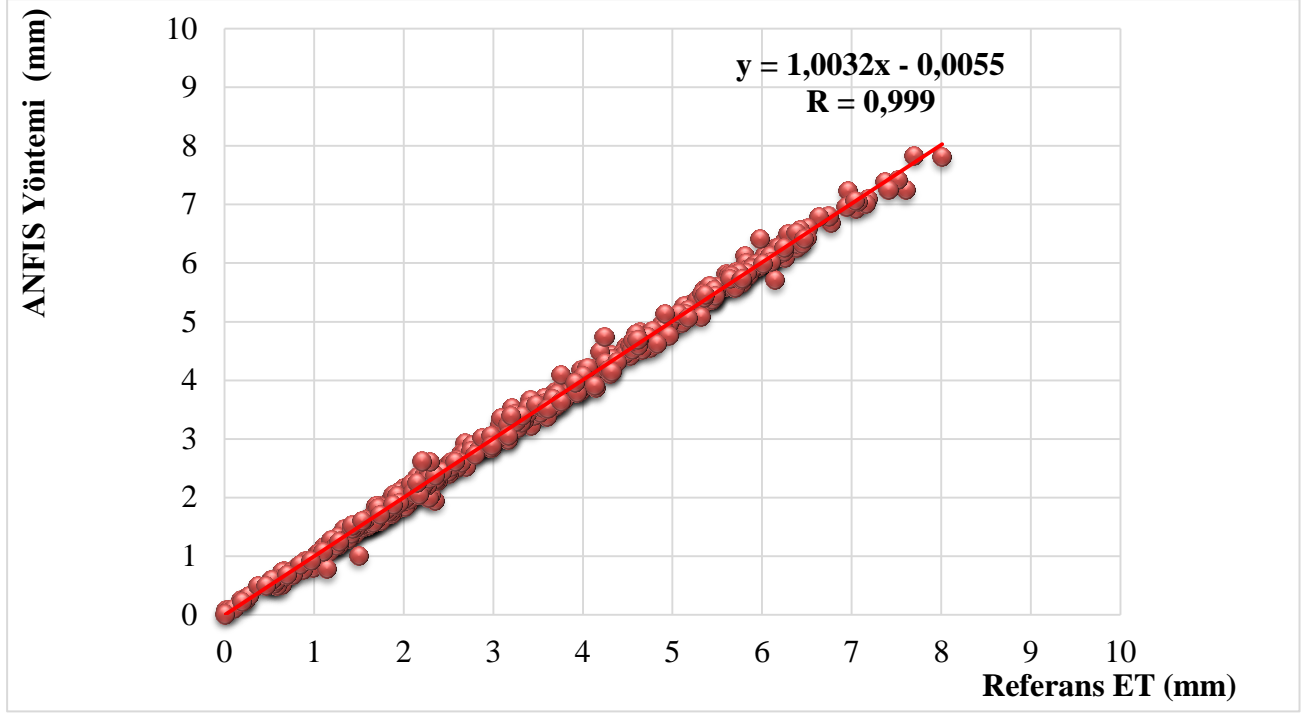
Şekil 6. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve SMRGT saçılım grafiği

4.3. ANFIS Model Sonuçları

Bu çalışmada ANFİS model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük evapotranspirasyon miktarı, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. ANFIS modelinin dağılım grafiği Şekil 7 ve saçılım grafiği Şekil 8 gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, ANFIS modeli test verileri için uygulandığında model sonuçlarının korelasyon katsayısının 0.999 olduğu görülmektedir. ANFİS Metodu, Çoklu Doğrusal Regresyon ve SMRGT modellerine göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 7. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ANFIS dağılım grafiği



Şekil 8. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ANFIS saçılım grafiği

5. Sonuç

Bu çalışmada veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yönetilmekte olan 17351-Adana istasyonundan alınarak 2015-2021 yılları arası günlük evapotranspirasyon miktarı tahmin edilmiştir. Penman Monteith FAO denklemi referans olarak kabul edilmiştir. Evapotranspirasyon miktarı tahmini için Bulanık SMRGT, ANFİS ve Çoklu Doğrusal Regresyon modelleri kullanılmış ve modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bulanık SMRGT, ANFİS ve ÇDR modellerinde toplam 1966 verinin 1476 verisi eğitim için 490 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar referans Penman Monteith FAO denklemi ile karşılaştırılmıştır.

Tüm modellerde korelasyon katsayısı ve hata oranlarına bakarak ANFİS modeli, SMRGT ve ÇDR modellerine göre evapotranspirasyon tahmininde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. ANFİS modelin daha iyi sonuç verdiği; daha yüksek korelasyon katsayısı (0.999) ve daha düşük hata oranı (OMH:0.083, KOKH:0.115) değerlerinden görülmüştür. SMRGT ve ÇDR modellerine ait grafikler incelendiğinde; ÇDR modelin SMRGT modele göre korelasyon katsayısının daha yüksek olması ve hata oranı değerlerinin daha düşük olmasından dolayı ÇDR modelinin SMRGT modele göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun sebebinin, bağımlı değişken olan evapotranspirasyonun, bağımsız değişkenlerle (sıcaklık, rüzgâr hızı, solar radyasyon ve bağıl nem) arasında lineer bir ilişkiye sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

ANFİS yönteminin hidroloji bilimi için klasik yöntemlere bir alternatif olarak birçok tahmin çalışmasında kullanılabileceği görülmüştür. Doğal olaylar klasik yöntemlere her zaman rahat modelleme imkan vermediğinden belirsizlik ve kesin olmayan durumlarda daha uygun olarak

kullanılabilecek başka yöntemler olduğu görülmüştür. ANFIS modelin probleme kolay uyum sağlayabilmesi, çıkış değerlerinin çok daha kısa sürede elde edilmesi gibi birçok avantajı olduğundan buharlaşma çalışmalarında ANFIS yöntemine de başvurulabilir. Modellemenin farklı iklim şartlarına sahip bölgeler için yapılması, modelleme başarısının geliştirilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen hidrolojik veriler kullanılmıştır. Yazarlar, hidrolojik verilerin ölçülmesi ve aktarılmasında rol alan MGM teknik ekibine 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

- Arslan H., Tasar B., Unes F., Demirci M., Yılmaz A. Keban Baraj Gölü seviye değişiminin anfis ve destek vektör makineleri ile tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 3(2): 71-77.
- Bakir M., Dalgac S., Unal E., Karadağ F., Demirci M., Koksall AS., Karaaslan M. High sensitive metamaterial sensor for water treatment centres. *Water, Air, & Soil Pollution* 2019; 230(12): 1-9.
- Chen D. Daily reference evapotranspiration estimation based on least squares support vector machines. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 2012; 369: 54-63.
- Chen Z., Zhu Z., Jiang H., Sun S., Estimating daily reference evapotranspiration based on limited meteorological data using deep learning and classical machine learning methods. *Journal of Hydrology* 2020; 591: 125286.
- Dayan F., Demirci M., Unes F., Tasar B. Nehirlerdeki katı madde miktarının bulanık smrgt yöntemi ile tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 24(4): 294-307.
- Demirci M., Unes F., Kaya YZ., Tasar B., Varcin H. Modeling of dam reservoir volume using adaptive neuro fuzzymethod. *aerul si apa. Componente ale Mediului* 2018; 145-152.
- Demirci M. Destek vektör makineleri ve m5 karar ağacı yöntemleri kullanılarak yağış akış ilişkisinin tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2019; 10(3): 1113-1124.

- Doğan E., Sabahattin I., Sandalcı M. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanarak tahmin edilmesi. *Teknik Dergi* 2007; 18(87): 4119-4131.
- Gavili S., Sanikhani H., Kisi O., Mahmoudi MH. Evaluation of several soft computing methods in monthly evapotranspiration modelling. *Meteorol. Appl.* 2018; 25: 128-138.
- Gocić M., Motamedi S., Shamshirband S., Petković D., Ch S., Hashim R., Arif M. Soft computing approaches for forecasting reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture* 2015; 113: 164-173.
- Gumus V., Simsek O., Soydan NG., Akoz M. S., Yenigun K. Adana istasyonunda buharlaşmanın farklı yapay zeka yöntemleri ile tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2016; 7(2): 309-318.
- Gümüş V., Yesiltas Y., Simsek O. Yapay zekâ yöntemleri ile Adıyaman ve Diyarbakır İstasyonlarının aylık tava buharlaşmalarının tahmin edilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 2021; 10(2): 112-122.
- Jang JS. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzyinference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1993; 23(3): 665-685.
- Jensen ME., Burman RD., Allen RG. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, American Society of Civil Engineers New York 1990.
- Kaya YZ., Mamak M., Unes F. Evapotranspiration prediction using M5T data mining method. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)* 2016; 12(3): 225-229.
- Kaya YZ., Unes F., Mamak M. Estimating evapotranspiration using adaptive neuro fuzzy inference system and HargreavesSamani method. In: *Book of abstracts of the International Conference on Engineering* 2016.
- Kılınç I., İstanbul'daki baraj haznelerinin işletilmesinde yapay sinir ağları kullanılması. İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü) 2004.
- Kumar M., Raghuwanshi NS., Singh R., Wallender WW., Pruitt WO. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2002; 128(4): 224-233.
- Mirás-Avalos JM., Rubio-Asensio JS., Ramírez Cuesta JM., MaestreValero JF., Intrigliolo DS. Irrigation-advisor-a decision support system for irrigation of vegetable crops. *Water* 2019; 11(11): 2245.
- Ozel A., Büyükyıldız M. Aylık buharlaşma tahmininde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 8(1): 244-254.
- Shiri J., Kisi O. Comparison of genetic programming with neuro-fuzzy systems for predicting short-term water table depth fluctuations, *Computers & Geosciences* 2011; 37(10): 1692-1701.
- Sudheer KP., Gosain AK., Mohana Rangan D., Saheb SM. Modelling evaporation using an artificial neural network algorithm. *Hydrological Processes* 2002; 16(16): 3189-3202.

- Traore S., Wang YM., Kerh T. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano Sahelian zone. *Agricultural Water Management* 2010; 97: 707-714.
- Tasar B., Unes F., Demirci M., Kaya YZ. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *DÜMF Mühendislik Dergisi* 2018; 9(1): 543-551.
- Toprak ZF. Flow discharge modeling in open canals using a new fuzzy modeling technique (SMRGT). *CLEAN – Soil, Air, Water* 2009; 37(9): 742-752.
- Turhan E., Cagatay HO. Eksik akım verilerinin tahmin modelinin oluşturulmasında yapay sinir ağlarının kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü akım gözlem istasyonu örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2016; 31(1): 93-106.
- Turhan E., Cagatay, HO., Cetin A. Yapay sinir ağı yöntemleri ile Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası yağış-akış ilişkisinin modellenmesi ve yağışlı-kurak dönemler açısından irdelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2016; 31(2): 227-242.
- Turhan E. A comparative evaluation of the use of artificial neural networks for modeling the rainfall-runoff relationship in water resources management. *Journal of Ecological Engineering* 2021; 22(5): 166-178.
- Unes F., Demirci M., Tasar B., Kaya YZ., Varcin H. Estimating dam reservoir level fluctuations using data-driven techniques. *Polish Journal of Environmental Studies* 2019; 28(5): 3451-3462.
- Unes, F., Demirci M., Zelenakova M., Calisici M., Tasar B., Vranay F., Kaya YZ. River flow estimation using artificial intelligence and fuzzy techniques. *Water* 2020; 12(9): 2427.
- Yihdego Y., Webb JA. Comparison of evaporation rate on open water bodies: energy balance estimate versus measured pan. *Journal of Water and Climate Change* 2018; 9(1): 101–111.
- Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control* 1965; 8(3): 338-353.
- Zanetti SS., Sousa EF., Oliveira VPS., Almeida FT., Bernardo S. Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2007; 133(2): 83-89.

A Cohort Analysis of Food Expenditure Away From Home in Turkey

Seda ŞENGÜL¹, Çiler SİGEZE^{2*}

¹Cukurova University, FEAS, Department of Econometrics, Adana, Turkey

²Cukurova University, FEAS, Department of Econometrics, Adana, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0002-5648-3270>

²<https://orcid.org/0000-0001-5329-5066>

*Correspondence author: csigeze@cu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 29.03.2022

Accepted: 21.07.2022

Published online:10.03.2023

Keywords:

Food away from home

Cohort effects

Age effects

Double Hurdle Model

ABSTRACT

In this study, the expenditures of households on food away from home are examined using the Household Consumption Expenditure Survey, conducted by the Turkish Institute of Statistics from 2002 to 2018. We adopt the Dependent Double Hurdle model incorporating age, period, and cohort effects and the impact of socio-demographic variables. Analysis results reveal that the cohort and age effects on food expenditure away from home are significant in both participation and consumption. The findings suggest that the expenditures on food away from home for younger cohorts rise faster for older cohorts. The elasticity of food expenditures for cohorts and age groups is increasing from the youngest cohort and age group to the oldest cohort and the largest age group. We conclude that participation and consumption decisions are significantly affected by income and demographic characteristics in Turkey.

Türkiye’de Ev Dışı Gıda Harcamalarının Kohort Analizi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.03.2022

Kabul tarihi: 21.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Ev dışı gıda

Kohort etkisi

Yaş etkisi

Çift eşik model

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu tarafından derlenen 2002-2018 yılı Hanehalkı Bütçe Araştırmaları Anketi verileri kullanılarak Türkiye’de hanelerin ev dışı gıda harcamaları incelenmiştir. Hanelerin ev dışı gıda harcamaları üzerinde hane özelliklerinin ve hanedeki bireylerin sosyo-demografik özelliklerinin yanında yaş, zaman ve kohort etkisi Çift Eşik modeli ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde bireylerin ev dışı gıda harcamalarının hem katılım hem de tüketim kararında kohort ve yaş etkisi önemli bulunmuştur. Bulgular, daha genç kohortlar için ev dışı gıda harcamasının daha yaşlı kohortlara göre daha hızlı arttığını göstermektedir. Kohortlar ve yaş grupları için gıda esneklikleri ise en genç kohortlardan ve en genç yaş gruplarından, en yaşlı kohortlara ve en büyük yaş gruplarına doğru artmaktadır. Sonuç olarak Türkiye’de gelir ve demografik değişkenler ev dışı gıda tüketiminde, katılım ve tüketim kararlarını etkilemektedir.

To Cite: Şengül S., Sigeze Ç. A Cohort Analysis of Food Expenditure Away From Home in Turkey. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 121-139.

1. Introduction

Consumer eating habits, preferences, and consumption structure have changed significantly in recent years. The changes in the expenditure on food away from home (FAFH) typically are contributed by

factors such as globalization, urbanization, higher income, a household with more than two earners, and increased participation of women in the labor force, etc. (Yen, 1993; Nayga and Capps, 1994; Bai et al., 2010). In addition, FAFH has increasingly become an integral part of dietary habits. While the food at home (FH) expenditure is decreasing, the share of FAFH expenditure is comparably increasing in Turkey and in the world at large.

The share of food expenditure at home and away from home was 31.9 percent and 5.4 percent of total expenditure in 2010. While these rates fell to 20.3% in FH expenditure, FAFH expenditure increased to 6.5% in 2018. Additionally, 80.22% of total food expenditure was allocated for spending on FH and 19.88% for spending on FAFH in 2010. These shares were 75.74% for spending at home and 24.26% for eating outside in 2018 in Turkey (TurkStat, 2018).

The theoretical base for food-away-from-home (FAFH) is constructed based on the household production theory (Becker, 1965; Lancaster, 1971). This model employs both time and expenditure as inputs. The time value plays a significant role in expenditure allocation between FH and FAFH (Lancaster, 1966, 1971; Prochaska and Schrimper, 1973; Yen, 1993; Manrique and Jensen, 1998; Mihalopoulos and Demoussis, 2001).

In previous literature, FAFH consumption decision varies according to potential variables such as age, education level, income, gender, time constraint, opportunity cost, region, urbanization, race, wealth, household type and household size (Prochaska and Schrimper, 1973; McCracken and Brandt, 1987; Yen, 1993; Byrne et al., 1996; Jensen and Yen, 1996; Nayga, 1996; Mutlu and Gracia, 2006; Jang et al. 2007; Bai et al., 2010; Tan, 2010; Liu et al., 2012; Haq et al. 2014; Liu et al., 2015; Ogundari et al. 2015; Cupak et al. 2016; Blick et al. 2018; Latimaha et al. 2018; Terin, 2019). A great deal of literature has investigated both the socio-demographic and the economic characteristics of households on FAFH consumption using different methodologies. For example, to find out the determinants of total household expenditures on FAFH; McCracken and Brandt (1987) used Tobit model, Yen (1993) preferred the Box-Cox Double Hurdle Model, Byrne et al. (1996) used a generalization of the Heien and Wessells approach among censored response models, Jensen and Yen (1996) applied IHS (inverse hyperbolic sine) double-hurdle model, etc.

Several studies used cohort analysis to investigate food consumption. Harris and Blisard (2001) examined the significance of performing a cohort analysis for food consumption. First, they found that sustainable economic growth made successive or younger cohorts better off than their predecessors. Second, various generations could have different tastes and preferences, and third, attitudes towards diet and health could vary across generations. Using cohort analysis, Mori et al. (2000) characterized Japanese food consumed-at-home into six categories. Based on the Bayesian method, some cohorts and age effects were recognized; for example, the lower demand for rice among the younger cohorts reflected the higher demand for beef among the younger cohorts in Japan compared to the older cohorts. American food and income expenditures are disintegrated into time (period), age, and cohort effects. There are substantial cohort effects for all food groups, with the exception of the groups of vegetables, sugar, and sweets. Blisard (2001), contrarily found no proof that the younger cohorts had

higher expenditures on FAFH than the older cohorts. Aristei, et al. (2005) observed period, age, and cohort effects on alcohol expenditures in Italy using the double-hurdle model. The finding indicated that older cohorts drink more alcohol than younger cohorts. Wendt and Kinsey (2007) examined the literature about the cohort and age effects on the food consumption of the households in the United States. The findings showed that the age effect was more likely than the cohort effect. Stewart and Blisard (2008), focused on the cohort effects at-home expenditures for the fresh vegetable group from the American Consumer Expenditure Survey to analyze changes in vegetable demand due to the generational effects. Zan and Fan (2010) analyzed the cohort effects of FAFH expenditures and found a cohort trend generally in FAFH consumption; thus, younger cohorts have a larger budget share and spend more for FAFH. Using the SUR regression model, Drescher and Roosen (2013) investigated a cohort analysis on FH and FAFH consumptions of German households over 25 years. Test results showed that age, period and cohort (APC) effects of FH and FAFH expenditures were significant.

However, generational effects in the life cycle approach were generally ignored and usually highlighted age effect on consumption of FAFH (Blisard, 2001; Zan and Fan, 2010). This approach assumes that individuals in the same phase of life have similar consumption features (Ando and Modigliani, 1957; Gilly and Enis, 1982). However, individuals of different generations or in different age groups exhibit different consumption patterns depending on their social interactions and income status through specific tastes and preferences (Mori et al., 2000; Blisard, 2001; Drecher and Roosen, 2013). Finally, the cohort analysis can examine the generational and age impacts on household food expenditure outside homes because it allows for separating age, period, and cohort effects (Deaton and Paxson, 1997, Blisard, 2001). As well as examining how the consumption of food away from home changes between generations, it is important to understand whether food consumption at home has changed between generations in Turkey.

Some studies focused on the consumption of FAFH in Turkey (Uzunoz et al., 2011; Bozoglu et al., 2013; Terin, 2019). As distinct from other studies in Turkey, we investigate a cohort, age, and time decomposition of FAFH consumption employing the double hurdle model in this study. Therefore, the objective of this research is to investigate the impact of generation, age, and time on FAFH in Turkey for all households from 2002 to 2018. Subsequently, some social policy prescriptions for policymakers are proposed to identify population groups with some special needs that require support in their dietary plan and choices in Turkey. Finally, the consumption pattern would change during the pandemic period. The outcome also serves as a benchmark that aids in comparison during the global pandemic period.

2. Material and Method

2.1. Data, Cohort Definition, and Variables

The data set used in the empirical analysis was obtained from the Household Consumption Expenditure Survey conducted by the Turkish Institute of Statistics (TURKSTAT) from 2002 to 2018. The total sample contains 186,339 households.

Household Consumption Expenditure Survey (HCES) is defined by repeated cross-sectional surveys with no panel dimension. For this reason, the most general representation is to use a cohort formed by individuals born in the same time interval (usually a five-year age band) (Blisard, 2001). In this study, we decided to exclude from the sample all the households whose head was born after 1978 and before 1938 (age 36–80 in 2018 and age 20–64 in 2002). The sample size is 170487 households after excluding from these observations. The household heads in the sample are distributed to 9 five-years cohorts (with the first cohort representing all the household head born between 1978 and 1982, aged 20–24 in 2002, until the ninth cohort which contains those household heads born between 1938 and 1942, aged 76–80 in 2018). The birth years and the percentage of each cell for all cohorts, as reported in Table 1, defines the five years ‘cohorts. The rate of all cohorts, with the first and last expectation, remains large enough and the survey remains stable throughout the year. The percentage of the first cohort is particularly small in the first 3 years, and also the percentage of the last cohort is particularly small in the last 3 years of the sample. In a cohort analysis, there is typically a considerable difference in the cohort sizes. The middle cohorts include the most observations. The oldest cohorts have generally the smallest cohort sizes because people pass away when they get older with the youngest cohorts also tend to be a smaller group because most of young individuals still live in their parent’s household.

Household budget surveys in Turkey have been regularly conducted since 2002. The HCES contains information on the exact age of household heads whereas the age of household heads for the years 2006, 2007, 2008 and 2009 are given on an interval basis. Because to determine how FAFH expenditure have changed by generations, cohorts have been calculated as follows for years when the age of the household head is intermittent so as not to cause a loss of year. This interval basically as such; 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64 and last age 65 and older. The age interval of each cohort is the same age interval as the head of households at HCES in 2006. We calculated cohorts as follows for 2007, 2008 and 2009. First, the proportion of households in each of the nine cohorts was calculated for the age of household head and it exists exactly as provided. For example, approximately 9% of the total number of observations is in the first cohort for the years which the age of household head exists exactly. During the creation of cohort 1, 9% of household heads between the ages 25 and 29 were randomly selected from 8,640 sample from 2007. Other cohorts from 2008 and 2009 were calculated in the same way. Total number of observations for 2008, 2009 is 8,549 and 10,046, respectively.

In this study, the Consumer Price Index(CPI) (2003=100) is used to deflate all monetary variables. We deflated with CPI of the accommodation and restaurant services for FAFH and with the overall CPI of total expenditure variable.

Total expenditure and the square of total expenditure are the variables used as a proxy of income. Total consumption expenditure is used as an independent variable as an indicator of total income due to the fact that total expenditure data is not bias compared to income data (Deaton and Muellbaaur, 1980). Because in this study, cohort-age-time decomposition structure is put on the equations for

verifying the presence of intergenerational and life-cycle patterns in FAFH expenditure. These independent variables which are expected to affect the FAFH expenditure are gender, marital status, education, occupation of household head, household type and household size with OECD equivalence scale. The definition of variables and descriptive statistics of variables in analyzing FAFH expenditure are indicated in the Table 2.

According to Table 2, 23.83% of households did not consume FAFH while 76.17% consumed FAFH from the data between 2002-2018 Household Budget Survey. The monthly average of FAFH expenditure is 85,506 TL for total sample and 112,531 TL for the household who consume out of home (positive sample). The size of a household may affect the decision to expenditure on FAFH because of the economies of scale in food consumption, in which smaller households can have cost advantages over larger households. Thus, larger household may prefer to eat at home instead of FAFH (e.g., McCracken and Brandt, 1987; Deaton and Paxson, 1998; Gan and Vernon, 2003). In addition, the work of family members may affect the decision to take FAFH due to family members who are included in long hour jobs or work outside. (e.g., Cage, 1989; Abdel Ghany and Sharpe, 1997; Cai, 1998).

Table 1. Five Years Cohorts and Percent/ of Households in Each Year

| Birth date | 2002 _{Age} | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | n _{cohort} | 2018 _{Age} |
|-------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|---------------------|
| 1978-1982 | 20-24 | 1.86 | 2.43 | 3.01 | 4.53 | 7.53 | 7.83 | 6.82 | 7.14 | 7.00 | 12.00 | 12.23 | 12.92 | 13.15 | 13.41 | 14.00 | 14.48 | 14.58 | 8.79 | 36-40 |
| 1973-1977 | 25-29 | 9.53 | 9.71 | 10.28 | 11.11 | 12.98 | 12.73 | 12.25 | 12.22 | 12.11 | 14.45 | 14.38 | 14.67 | 14.23 | 14.06 | 14.41 | 14.05 | 14.70 | 12.62 | 41-45 |
| 1968-1972 | 30-34 | 14.31 | 13.53 | 14.47 | 13.97 | 14.42 | 13.96 | 15.55 | 14.96 | 14.59 | 14.11 | 13.96 | 15.29 | 15.21 | 13.87 | 14.58 | 14.31 | 13.89 | 14.33 | 46-50 |
| 1963-1967 | 35-39 | 16.71 | 16.88 | 16.45 | 16.06 | 16.09 | 14.65 | 14.54 | 14.62 | 13.78 | 14.59 | 13.80 | 14.15 | 14.15 | 14.31 | 13.99 | 14.13 | 15.18 | 15.07 | 51-55 |
| 1958-1962 | 40-44 | 15.94 | 15.65 | 15.22 | 15.20 | 14.46 | 14.74 | 14.79 | 14.49 | 15.91 | 13.35 | 13.13 | 11.69 | 12.35 | 12.65 | 11.60 | 12.75 | 12.35 | 13.97 | 56-60 |
| 1953-1957 | 45-49 | 14.25 | 13.71 | 14.11 | 13.88 | 12.57 | 13.91 | 13.10 | 12.38 | 12.85 | 11.31 | 12.06 | 10.99 | 10.71 | 11.53 | 11.54 | 10.86 | 11.22 | 12.45 | 61-65 |
| 1948-1952 | 50-54 | 12.31 | 12.02 | 12.29 | 11.27 | 9.26 | 9.65 | 10.09 | 10.69 | 10.96 | 8.40 | 8.90 | 8.56 | 8.71 | 9.37 | 9.31 | 8.67 | 8.13 | 10.05 | 66-70 |
| 1943-1947 | 55-59 | 8.21 | 8.68 | 7.68 | 7.30 | 7.02 | 7.69 | 7.82 | 8.50 | 8.14 | 6.94 | 6.27 | 6.06 | 5.72 | 6.10 | 5.83 | 6.23 | 6.05 | 7.17 | 71-75 |
| 1938-1942 | 60-64 | 6.90 | 7.39 | 6.50 | 6.68 | 5.67 | 4.85 | 5.05 | 5.01 | 4.66 | 4.85 | 5.27 | 5.68 | 5.76 | 4.71 | 4.74 | 4.51 | 3.90 | 5.55 | 76-80 |
| Total | | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | |

Table 2. Variable definition and descriptive statistics of variables

| Variable | The definition of variables | Total Sample | | Positive Sample | |
|------------|--|--------------|---------|-----------------|--------|
| | | Mean | S. Dev. | Mean | S. D |
| FAFH | Monthly household exp. of FAFH | 85.50 | 159.95 | 112.53 | 174.88 |
| logFAFH | Logarithm of monthly exp. of FAFH | 2.84 | 2.12 | 3.73 | 1.61 |
| logrhar | Log of total expenditure of household | 6.34 | 2.78 | 6.37 | 2.72 |
| logharsq | Logarithm of total expenditure square | 47.94 | 41.06 | 48.06 | 39.89 |
| Gender | 1, if household head is male, 0 otherwise | 0.88 | 0.32 | 0.90 | 0.29 |
| Hsize | Household size equalized with OECD scale | 2.25 | 0.80 | 2.26 | 0.752 |
| educ1 | 1 if household head is without any education, 0 otherwise | 0.02 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| educ2 | 1 if household head is primary school graduates, 0 otherwise | 0.14 | 0.35 | 0.12 | 0.33 |
| educ3 | 1 if household head is secondary school graduates, 0 otherwise | 0.05 | 0.22 | 0.06 | 0.24 |
| educ4 | 1 if household head is university graduates, 0 otherwise | 0.18 | 0.38 | 0.19 | 0.39 |
| occupation | 1, if household head has a wage or salary, 0 otherwise | 0.26 | 0.43 | 0.29 | 0.45 |
| marital | 1 if household head is married, 0 otherwise | 0.87 | 0.33 | 0.89 | 0.312 |
| Htype | 1 if household type is nuclear, 0 otherwise | 0.44 | 0.49 | 0.48 | 0.49 |
| cohort1 | 1 if household head is born between 1978-1982, 0 otherwise | 0.08 | 0.27 | 0.09 | 0.29 |
| cohort2 | 1 if household head is born between 1973-1977, 0 otherwise | 0.12 | 0.32 | 0.13 | 0.33 |
| cohort3 | 1 if household head is born between 1968-1972, 0 otherwise | 0.136 | 0.34 | 0.14 | 0.35 |
| cohort4 | 1 if household head is born between 1963-1967, 0 otherwise | 0.143 | 0.35 | 0.15 | 0.35 |
| cohort5 | 1 if household head is born between 1958-1962, 0 otherwise | 0.132 | 0.33 | 0.13 | 0.34 |
| cohort6 | 1 if household head is born between 1953-1957, 0 otherwise | 0.118 | 0.32 | 0.11 | 0.32 |
| cohort7 | 1 if household head is born between 1948-1952, 0 otherwise | 0.096 | 0.29 | 0.09 | 0.28 |
| cohort8 | 1 if household head is born between 1943-1947, 0 otherwise | 0.069 | 0.25 | 0.06 | 0.23 |
| cohort9 | 1 if household head is born between 1938-1942, 0 otherwise | 0.104 | 0.30 | 0.07 | 0.26 |
| age1 | 1 if household head is between 20-24 years old, 0 otherwise | 0.004 | 0.06 | 0.003 | 0.05 |
| age2 | 1 if household head is between 25-29 years old, 0 otherwise | 0.040 | 0.19 | 0.04 | 0.19 |
| age3 | 1 if household head is between 30-34 years old, 0 otherwise | 0.092 | 0.28 | 0.09 | 0.29 |
| age4 | 1 if household head is between 35-39 years old, 0 otherwise | 0.139 | 0.34 | 0.14 | 0.35 |
| age5 | 1 if household head is between 40-44 years old, 0 otherwise | 0.144 | 0.35 | 0.15 | 0.36 |
| age6 | 1 if household head is between 45-49 years old, 0 otherwise | 0.136 | 0.34 | 0.14 | 0.35 |
| age7 | 1 if household head is between 50-54 years old, 0 otherwise | 0.126 | 0.33 | 0.12 | 0.33 |
| age8 | 1 if household head is between 55-59 years old, 0 otherwise | 0.100 | 0.30 | 0.010 | 0.29 |
| age9 | 1 if household head is between 60-64 years old, 0 otherwise | 0.082 | 0.27 | 0.076 | 0.26 |
| age10 | 1 if household head is older than ≤ 65 , 0 otherwise | 0.138 | 0.34 | 0.11 | 0.31 |
| year1 | Normalized dummy variable 1 if year is 2002, zero otherwise | 0.054 | 0.22 | 0.05 | 0.22 |

| | | | | | |
|-------------|---|--------|------|--------|------|
| year2 | Normalized dummy variable 1 if year is 2003, zero otherwise | 0.147 | 0.35 | 0.13 | 0.33 |
| year3 | Normalized dummy variable 1 if year is 2004, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.045 | 0.20 |
| year4 | Normalized dummy variable 1 if year is 2005, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.048 | 0.21 |
| year5 | Normalized dummy variable 1 if year is 2006, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.048 | 0.21 |
| year6 | Normalized dummy variable 1 if year is 2007, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.046 | 0.20 |
| year7 | Normalized dummy variable 1 if year is 2008, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.050 | 0.21 |
| year8 | Normalized dummy variable 1 if year is 2009, zero otherwise | 0.049 | 0.21 | 0.058 | 0.23 |
| year9 | Normalized dummy variable 1 if year is 2010, zero otherwise | 0.057 | 0.23 | 0.060 | 0.23 |
| year10 | Normalized dummy variable 1 if year is 2011, zero otherwise | 0.057 | 0.23 | 0.056 | 0.23 |
| year11 | Normalized dummy variable 1 if year is 2012, zero otherwise | 0.053 | 0.22 | 0.055 | 0.22 |
| year12 | Normalized dummy variable 1 if year is 2013, zero otherwise | 0.052 | 0.22 | 0.056 | 0.23 |
| year13 | Normalized dummy variable 1 if year is 2014, zero otherwise | 0.052 | 0.22 | 0.055 | 0.22 |
| year14 | Normalized dummy variable 1 if year is 2015, zero otherwise | 0.051 | 0.22 | 0.126 | 0.33 |
| year15 | Normalized dummy variable 1 if year is 2016, zero otherwise | 0.059 | 0.23 | 0.045 | 0.20 |
| year16 | Normalized dummy variable 1 if year is 2017, zero otherwise | 0.059 | 0.23 | 0.048 | 0.21 |
| year17 | Normalized dummy variable 1 if year is 2018, zero otherwise | 0.056 | 0.23 | 0.048 | 0.21 |
| Sample size | | 170487 | | 129864 | |

2.2. Model Specification and Method

The application of a repeated cross-sectional analysis prevents any panel effects, which are undesirable effects when participants adjust their attitudes or behavior structures since they are partaking in a longitudinal survey. Alternatively, none of the households are analyzed more than once in any occasion, but different samples of individuals from cohorts are observed at different times (Blisard, 2001; Glenn, 2005; Steward and Blisard, 2008). The APC model or cohort analysis decomposes the data into the age (A), period (P) and cohort (C) effects (Blisard, 2001).

In repeated cross-sectional research, the modeling of age, period and cohort effects are complicated by the linear dependence of these three variables ($\text{period} = \text{age} + \text{cohort}$) under analysis. These dependencies mean that the same data creation process can be modeled correctly with a combination of several different ages, periods, and cohort effects. Cohort analysis obtain a special feature to consider in order to acquire consistent analysis (Glenn, 2005). Age, Period and Cohort variables describe themselves linearly. All three effects are the linear function of the other two effects. In other words: “the year in which every household is observed, equals the age of the household, a, plus the year of birth, b”(Aristei, et al., 2005, p. 13). While there is no consensus on the best solution in the

literature, various approaches to resolving the defining issue have been proposed (Zan and Fan, 2010). Deaton and Paxson (1994) propose two restrictions on the effects of time. The first restriction denotes time effects are orthogonal to a linear time trend, and the second restriction states the sum of the year effects is zero. According to Deaton and Paxson (1994) put forward that there is a zero-time effect in the long-run. This restriction allows short-run time effects such as business cycles to be considered (Blisard, 2001; Lührmann, 2010). In this paper we use the linear APC decomposition used. For example, A, P and C are dummy variables representing age, year and cohort. The age indicates life-cycle changes according to the age effects. Again, the cohort effects are linked with generational effects, while the year effects cause some changes temporarily in the household's consumption (Deaton, 1997). According to Deaton (1985, 1997), the APC variables is constructed utilizing the mean values of the variables in each cohort. Finally, Aristei et al. (2008) and Stewart and Blisard (2008) is followed and the basic APC model for determining the generation effects of FAFH expenditure which is made is given follows:

$$Y_i = \alpha_0 + \sum_{k=1}^9 \delta_{ik} C_k + \sum_{p=1}^{10} \gamma_{ip} A_p + \sum_{m=3}^{17} \eta_{im} Y_m \quad (\text{Eq.1})$$

Where y_i represents FAFH expenditure of household, C_k , A_p and Y_m show Cohort, Age and Y year dummies, δ , γ and η are parameters, respectively.

Figure 1 present cohorts, age and year decomposition of real FAFH in Turkey, respectively.

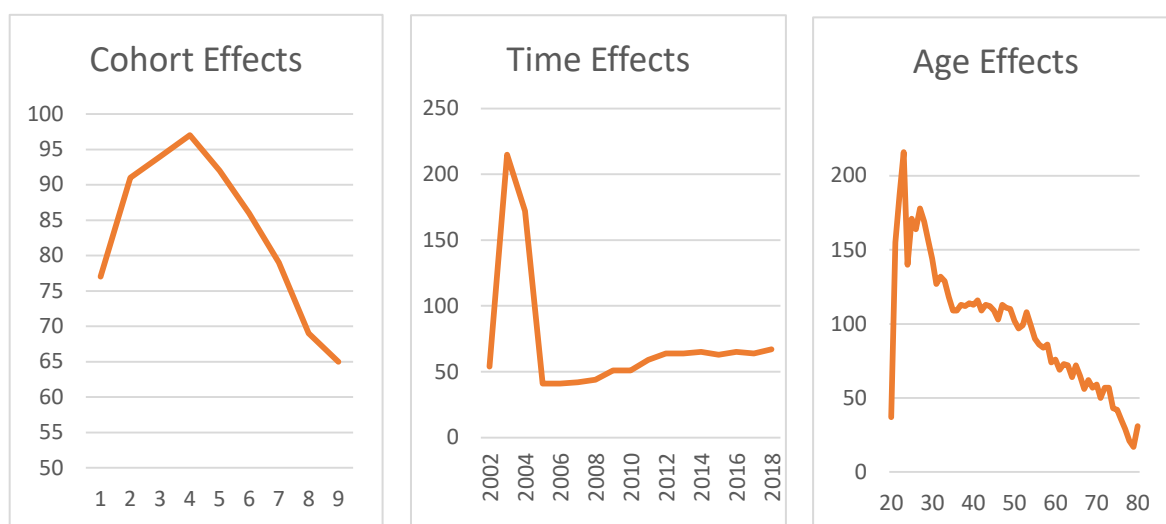


Figure 1. Real monthly food away from home expenditure decomposed by cohort, age and period

There is an increases in food expenditure away from home for the oldest versus youngest cohort. At the examination of the age effect, it was observed that FAFH expenditures were highest in the youngest age group, but there were significant decreases in FAFH spending among the older age

groups, with the lowest FAFH expenditure in the 29-34 age group and households in the 76-80 age group.

Time effects in the figure show a sharp increase in FAFH spending in 2003, while there has been a monotonous increase in FAFH spending since 2010. Within the framework of the European Union harmonization studies and in order to form the basis for the harmonized consumer price index, which will be implemented as of 2003, the sample size of the "Household Budget Survey" was expanded only for 2003 and 25 920 households were surveyed. Since 2004, the annual sample size of the studies has been reduced again and the annual survey system has been continued. Therefore, it can be said that the reason for the significant increase in FAFH in 2003 was due to the sample size of data (TURKSTAT, 2004).

The dependent variables in this study include a large number of zero values because many households do not consume FAFH. Therefore, different censored dependent variable models (such as, Double Hurdle and Infrequency of Purchase) is used. Dependent Double hurdle model is found to best fit the data for FAFH according to the Vuong test (Vuong test=3.23; $z_t=1.96$; reject H_0 in favour of DDH)

The LR test is also implemented to verify whether or not cohort and age have separate or joint effects on FAFH expenditures. The tests confirm that the FAFH consumption change according to cohort and age (Table 3).

In this study, dependent double hurdle model is adopted by the cohort for analyzing the expenditure on FAFH which is based on a two-stage decision. The first stage is a participation equation as the first hurdle equation and the second equation is a consumption equation as the second hurdle equation, as follows (Yen and Su, 1995; Yen and Huang, 1996; Yen and Jones, 1997; Aristei, et al., 2008).

$$y_i = \begin{cases} y_2^* & \text{if } y_1^* > 0 \text{ and } y_2^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Eq.2})$$

Participation equation:

$$y_1^* = z_i \alpha + u_1 \quad (\text{Eq.3})$$

Consumption equation:

$$y_2^* = x_i \beta + u_2 \quad (\text{Eq.4})$$

$$y_i = \begin{cases} y_2^* & \text{if } y_1^* > 0 \text{ and } y_2^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{Eq.5})$$

A positive expenditure of FAFH ($y_i=y_2^*$) is observed only if the household is a potential consumer ($y_1^* > 0$) and actually spends FAFH ($y_2^* > 0$). Zero values are the results of either participation or

consumption decisions and potential consumer may have zero expenditure on FAFH (Aristei et al., 2008). The matrices z and x include the explanatory variables of first and second equations, respectively. In addition, we assume u_1 and u_2 in equations are distributed as bivariate normal distribution and ρ is the correlation coefficient.

$$(u_1, u_2) \sim BVN(0, \Sigma), \quad \Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \sigma\rho \\ \sigma\rho & \sigma^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq.6})$$

The likelihood function for dependent Double Hurdle model can be written as:

$$L = \prod_{y_i=0} \left[1 - \theta\left(z_i\alpha, \frac{x_i\beta}{\sigma}, \rho\right) \right] \prod_{y_i>0} \left[z_i\alpha + \frac{p(y_i - x_i\beta)}{\sigma\sqrt{1-\rho^2}} \right] \frac{1}{\sigma} \phi\left[\frac{(y_i - x_i\beta)}{\sigma}\right] \quad (\text{Eq.7})$$

where p denotes probability, $\phi(\cdot)$ and $\theta(\cdot)$ are the univariate standard normal probability density function and cumulative density function, respectively (Yen, 1993).

Incorporate heteroscedasticity into the double hurdle model, the standard deviation can be specified as (Godfrey, 1978).

$$\sigma_i = \exp(w_i\gamma) \quad (\text{Eq.8})$$

To understand the impact of the explanatory variables on the dependent variable, it needs analyzing their marginal effects. The marginal effects are not presented due to space limitations, the equations of the marginal effect which were used in this study took from Yen and Su, 1995, Mutlu and Garcia, 2006.

3. Empirical Results

The results obtained after the estimation of the dependent Double-Hurdle model are given in the Table 4. The heteroscedasticity parameters of the continuous variables are statistically significant, implying the presence of heteroscedasticity of the error terms.

Table 4. Estimation of dependent double hurdle model and marginal effects

| Variable | Participation | | Expenditure | | Prob of consumption | | Conditional level of cons. | |
|------------------------------------|---------------|--------------|-------------|---------|---------------------|---------|----------------------------|---------|
| | Coef. | Z test | Coef. | Z test | Coef. | Z test | Coef. | Z test |
| logrhar | 0.33 | 46.09* | 0.75 | 76.08* | 0.726 | 79.57* | 0.964 | 87.85* |
| loghrsqr | -0.02 | -39.28* | -0.03 | -65.07* | -0.035 | -67.01* | -0.047 | -73.87* |
| gender | 0.34 | 21.54* | 0.30 | 15.10* | 0.283 | 22.26* | 0.496 | 26.31* |
| marital | -0.13 | -8.26* | -0.25 | -13.29* | -0.038 | -8.70* | -0.242 | -13.08* |
| educ2 | -0.18 | -15.07* | -0.19 | -11.63* | -0.051 | -15.27* | -0.183 | -11.29* |
| educ3 | 0.10 | 4.81* | 0.04 | 1.97* | 0.026 | 4.56* | -0.045 | -2.13* |
| educ4 | 0.07 | 6.98* | 0.06 | 5.76* | 0.018 | 6.63* | 0.059 | 5.55* |
| occup1 | 0.44 | 44.30* | 0.52 | 45.86* | 0.183 | 0.75 | 0.054 | 9.68* |
| hsize | -0.002 | -0.56 | 0.05 | 9.66* | 0.203 | 2.06* | 0.143 | 16.22* |
| htype | 0.20 | 26.18* | 0.15 | 16.74* | 0.123 | 5.01* | 0.502 | 6.63* |
| cohort1 | 0.06 | 0.98 | 0.70 | 8.39* | 0.615 | 6.03* | 0.688 | 8.36* |
| cohort2 | 0.02 | 0.27 | 0.52 | 7.00* | 0.417 | 4.63* | 0.510 | 6.99* |
| cohort3 | -0.06 | -1.22 | 0.36 | 5.63* | 0.207 | 2.62* | 0.363 | 5.67* |
| cohort4 | -0.10 | -2.21* | 0.20 | 3.60* | 0.140 | 2.59* | 0.203 | 3.66* |
| cohort5 | -0.10 | -2.61* | 0.06 | 1.31 | -0.068 | -1.77* | -0.013 | -2.38* |
| cohort6 | -0.08 | -2.70* | -0.01 | -0.37 | -0.109 | -2.29* | -0.011 | -3.91* |
| cohort7 | -0.04 | -1.61 | -0.02 | -0.70 | -0.062 | -1.57 | -0.020 | -0.97 |
| cohort8 | -0.03 | -1.29 | -0.01 | -0.66 | -0.043 | -1.40 | -0.016 | -1.22 |
| age1 | 0.18 | 1.99* | -0.72 | -6.27* | 0.337 | 2.41* | -0.713 | -6.33* |
| age2 | 0.15 | 2.25* | -0.58 | -6.81* | 0.268 | 2.13* | -0.582 | -6.87* |
| age3 | 0.26 | 4.37* | -0.42 | -5.68* | 0.019 | 4.27* | -0.429 | -5.81* |
| age4 | 0.34 | 6.63* | -0.30 | -4.54* | 0.178 | 6.55* | -0.306 | -4.73* |
| age5 | 0.40 | 9.02* | -0.11 | -1.93 | 0.395 | 8.99* | -0.122 | -2.18* |
| age6 | 0.43 | 11.38* | 0.10 | 2.13* | 0.489 | 11.42* | 0.086 | 2.92* |
| age7 | 0.40 | 13.04* | 0.20 | 5.22* | 0.435 | 13.15* | 0.190 | 4.88* |
| age8 | 0.33 | 13.42* | 0.23 | 7.32* | 0.471 | 13.56* | 0.219 | 6.99* |
| age9 | 0.20 | 10.61* | 0.14 | 5.63* | 0.346 | 10.72* | 0.133 | 5.37* |
| year3 | -0.04 | -2.33* | 0.15 | 16.74* | -0.356 | -13.67* | -0.396 | -18.74* |
| year4 | 0.16 | 9.16* | 1.43 | 27.15* | -0.963 | -35.44* | -1.491 | -69.54* |
| year5 | 0.10 | 5.56* | -1.53 | -66.54* | -0.356 | -13.67* | -1.510 | -66.94* |
| year6 | 0.04 | 2.17* | -1.49 | -63.38* | -0.963 | -35.44* | -1.468 | -63.62* |
| year7 | 0.21 | 10.99* | -1.58 | -68.45* | -0.958 | -33.01* | -1.559 | -69.21* |
| year8 | 0.20 | 11.02* | -1.34 | -60.41* | -0.785 | -28.44* | -1.319 | -61.08* |
| year9 | 0.25 | 13.82* | -1.28 | -58.24* | -0.683 | -24.81* | -1.267 | -59.08* |
| year10 | 0.27 | 12.49* | -1.23 | -47.21* | -0.626 | -19.19* | -1.221 | -47.86* |
| year11 | 0.45 | 19.77* | -1.05 | -37.56* | -0.267 | -7.72* | -1.045 | -38.57* |
| year12 | 0.38 | 15.83* | -1.25 | -43.44* | -0.504 | -13.98* | -1.237 | -44.23* |
| year13 | 0.36 | 14.36* | -1.23 | -41.07* | -0.521 | -13.95* | -1.220 | -41.75* |
| year14 | 0.45 | 17.36* | -0.98 | -29.47* | -0.217 | -5.45* | -0.977 | -30.19* |
| year15 | 1.33 | 43.09* | 0.91 | 22.60* | 0.227 | 48.73* | 0.852 | 22.57* |
| year16 | 1.39 | 43.60* | 0.90 | 21.47* | 0.232 | 48.41* | 0.834 | 21.38* |
| year17 | 1.40 | 43.56* | 0.94 | 22.23* | 0.237 | 48.91* | 0.872 | 22.19* |
| Cons | -1.54 | -48.95* | 1.43 | 27.15* | | | | |
| Sigma | 1.34 | (s.d=0.002*) | | | | | | |
| ρ | | | 0.59 | 2.63 | | | | |
| -LogL | -304423.48 | | | | | | | |
| Heteroscedasticity Equation | | | | | | | | |
| Loghar | 1.53 | 25.79* | | | | | | |
| Logharsqr | -0.11 | -19.30* | | | | | | |
| Hsize | 0.17 | 13.98 | | | | | | |

Notes: Asterisks indicate levels of significance; *: 0.05

Firstly, specification and evaluation is performed on the heteroscedasticity equation. Household size, log of household expenditure and square of logarithmic household expenditure that are considered to cause heteroscedasticity problem are found statistically significant. Therefore, heteroscedasticity consistent standard errors are calculated for dependent double hurdle models of FAFH in this study (White, 1980). While the interpretation is focused on cohort, age, period effects on FAFH, the demographic variable coefficients for each model have a statistically significant effect on FAFH (Table 5).

Total household expenditure has a positive effect on both equations of dependent double hurdle models. Square of total household expenditure has a negative effect on both market participation and consumption equations of dependent double hurdle models for FAFH.

The male headed household has a statistically significant and a positive effect on the probability decision of FAFH, while married household has a negative effect on the participation and the consumption decisions of FAFH. Urban households with a married head are 4.14% less likely to spend on FAFH than their unmarried peers.

It is worth noticing that the household size which is equivalent with OECD scale has a significantly positive effect on the expenditure decision of FAFH, but has no statistically significant effect on the FAFH participation decisions.

Household heads who earn a wage or salary has a positive effect on the probability and the consumption level of FAFH whereas influencing negatively the expenditure share of food. The nuclear type of household also has a positive and statistically significant effects on the decision on FAFH.

Generally, the estimated parameters with respect to the education levels of the household head are statistically significant. Household with higher education levels tend to have both a higher probability of FAFH participation and a higher FAFH consumption.

As compared to the base category which is the oldest age group (household head is equal or over 65 years old- in the base category), we discover that the likelihood of household FAFH market participation increases as the age of household head increases whereas the expenditure level of FAFH decreases for household head aged 44. After 44 years old, household head FAFH expenditure increases with respect to the base category.

In an attempt to assess the generational effects on FAFH market participation and consumption decisions, the cohorts between cohort 4 and cohort 6 generation tend to participate less than the oldest cohort, the other cohort groups are not statistically significant whereas the younger cohort (between cohort 1 and cohort 4) decide to spend more in the FAFH market than the oldest generation. The older generational effects (between cohort 5 and cohort 8) are not difference from zero for the expenditure level of FAFH.

The coefficient of all year variables has significant and positive effect on the market participation for FAFH expenditure whereas these effects are statistically significant with a negative sign in the expenditure equation of both FAFH.

The marginal effects on probability of market participation and conditional level of consumption with respect to explanatory variables and cohort, age for dependent double hurdle models of FAFH are given in Table 4. The obtained signs are consistent with theoretical expectations.

Regarding to total household expenditure, the probability of consumption and the conditional level of consumption for FAFH are positive and statistically significant, while total household expenditure squared is negative and significant. This implies that as total household expenditure increases, the potential consumer of FAFH leads to a higher propensity to eat food away from home, but at a decreasing rate. Hence a one percent increase in total expenditure increases the probability of purchasing food away from home of potential FAFH consumers by 0.726%.

A one percent increase in total expenditure increases the expenditure of FAFH by 0.964% for the already existing consumers participating in the FAFH market increase. But these two effects first increase, then decrease after a certain point. It means that an increase in total expenditure induce higher expenditures on FAFH.

Married household heads are less likely to participate in the purchase and spend food away from home as compared to unmarried headed household.

Household size adjusted by equivalence scale has no effects on the probabilities of participation for FAFH, while having a positive effect on the conditional consumption level of FAFH. But the conditional level of FAFH is rather high. It means that an increase in household size is likely to induce higher expenditures on food outside for existing FAFH consumers as expected.

The male headed household are 34% more likely to participate in consumption on FAFH and 49.6% more likely to consume FAFH than the base category (the female headed households).

Analyzing the effect of household heads with respect to education, it can be pointed out that the higher educated the household head, the more likely he is to purchase and tend to consume more FAFH than the base category. These positive effects of education are in agreement with the previous study (Bozoğlu et al. 2013).

Nuclear households are approximately 20% more likely to participate in the purchase of FAFH and 50.2% more likely to consume food away from home with respect to other household type.

With regard to cohort effects in FAFH, the first four cohorts, which were born 1978-1982 and 1973-1977, 1972-1976, 1967-1971 are more likely to purchase FAFH in the market and consume FAFH according to the oldest cohort. The youngest cohort is approximately 61.5% more likely to participate in the consumption of food away from home and 68.84% are more likely to consume FAFH than the oldest cohort which was born 1938-1942. For the cohort 5 (household head was born between 1958-1962) and the cohort 6 (household head was born between 1953 and 1957) both probability of FAFH and the conditional level of FAFH is negatively marked and statistically different from zero as a compared with the oldest cohort. This implies that as household with household headed was born 1958-1962 and 1953-1957, the potential consumer of FAFH will lead to less propensity to eat away from home and cause less expenditures on FAFH for existing consumers of FAFH than the oldest

cohort. This is mainly due to a decrease in potential consumers of FAFH expenditure by 6.8% for cohort 5 and 10.9 for cohort 6. Also the conditional level of FAFH consumption for these middle-age generations is particularly small. This result is unsurprising given the abundance of public health information on eating out at home.

However, the seventh and eighth cohorts have a negative effect but has no statistically significant effect on the probability of participation in the FAFH market and the conditional level of FAFH.

With regard to the age effects, all age groups tend to participate positively in FAFH market compared to the oldest age group, but the likelihood of market participation of older age group is higher than the younger age group for FAFH. Getting older age will lead to higher propensity to eat out of home. However, the conditional level of FAFH expenditure for age groups indicate that the first 5 age group (household head aged 20-24 and aged 40-44) intend to reduce their expenditure of food away from home compared to the reference age group 10 (household head aged over 64 years old) whereas the last 5 age groups (household aged 45 and 64) increase their food away expenditure. On the other hand, the young and middle age groups will lead to lower rate of expenditure on FAFH, while getting older leads to a higher rate of consumption.

4. Conclusion

The objectives of this paper were to determine the generational effects on food away from home consumption. The data used is decomposed into cohort, age and period effects using the dependent Double Hurdle models. The findings suggest that the expenditure of food away from home for younger cohorts rises faster for older cohorts. There is the presence of intergenerational differences.

Regarding age effects, all age groups tend to participate positively in the FAFH market compared to the oldest age group, but the older age group is more likely to participate in the market than the younger age group for FAFH. However, while the young and middle age groups will lead to a decrease in the rate of expenditure on FAFH in Turkey, the consumption rate will be higher as they get older.

The results also show that the total expenditure and the socio-demographic characterization are relevant on the expenditure of FAFH. As total household expenditure increases, the potential consumer of FAFH leads to a higher propensity to eat food away from home, but at a declining rate.

Furthermore, an increase in total household expenditure is more likely to cause higher expenditures of FAFH for existing consumers than potential FAFH consumers who buy food away from home.

The elasticity of food expenditures for cohorts and age groups is increasing from the youngest cohort and from the youngest age group to the oldest cohort which is the largest age group. Households should learn to buy healthy food items when eating away from home. The household should also have enough information that will guide them in the purchase of healthy food away from home. In order to consume healthy FAFH, the household must receive nutritional training.

When households are properly informed about identifying adequately these healthy food options coupled with in nutritional training programs, this household consciously would then prefer to buy less FAFH items.

An increase in the availability of varieties of healthy meals at restaurants is not alone a sufficient factor to improve the dietary quality of households purchases of FAFH. In addition to all these, the results suggest that tastes, preferences and habits continue to be one of the drives for the purchase of FAFH.

Many food-away-from-home facilities are temporarily closed during the COVID-19 pandemic. The FAFH is recognized as an important contributor to nutritional dietary habits of individuals and as such should be considered in a public health perspective. Its negative impacts on health calls for the attention of a public health issue that nutrition science will experience due to coronavirus pandemic), beyond the nutritional quality of foods produced outside the home. Therefore, the exposure to foods prepared away from home, especially those delivered to various places like offices and homes, can bring us many challenges that require intense solution for coping with the problems related to FAFH.

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Abdel Ghany M., Sharpe DL. Consumption patterns among the young-old and old-old. *Journal of Consumer Affairs* 1997; 31(1): 90-112.
- Ando A., Modigliani F. Tests of the life cycle hypothesis of saving: comments and suggestions. *Bulletin of the Oxford Institute of Statistics* 1957; 19(2): 99-124.
- Aristei D., Perali F., Pieroni L. Cohort analysis of alcohol consumption: a double hurdle approach. *Working Papers wp09_05, CHILD-centre for Household, Income, Labour and Demographic Economics, Working Papers*, 2005.
- Aristei D., Perali F., Pieroni L. Cohort, age and time effects in alcohol consumption by Italian households: a double-hurdle approach. *Empirical Economics* 2008; 35(1): 29-61.
- Bai J., Wahl TI., Lohmar BT., Huang J. Food away from home in Beijing: Effects of wealth, time and “free” meals. *China Economic Review* 2010; 21(3): 432-441.
- Becker GS. A theory of the allocation of time. *The Economic Journal* 1965; 75(299): 493-517.
- Blick M., Abidoye BO., Kirsten JF. An investigation into food-away-from-home consumption in South Africa. *Development Southern Africa* 2018; 35(1): 39-52.

- Blisard N. Income and food expenditures decomposed by cohort, age, and time effects. Electronic report from the economic research service No. 1488-2016-124592, 2001.
- Bozoglu M., Bilgic A., Yen ST., Huang CL. Household food expenditures at home and away from home in Turkey. Agricultural & Applied Economics Association's 2013 AAEA & CAES Joint Annual Meeting, August 4-6, 2013, Washington, DC.
- Byrne PJ., Capps Jr O., Saha A. Analysis of food-away-from-home expenditure patterns for US households, 1982-89. *American Journal of Agricultural Economics* 1996; 78(3): 614-627.
- Cupak A., Pokrivcak J., Rizov M. Demand for food away from home in Slovakia. *Finance a úvër: Czech Journal of Economics and Finance* 2016; 66(4): 354-369.
- Deaton A., Muellbauer J, *Economics and consumer behavior*, Cambridge University Press, 1980.
- Deaton A. Panel data from time series of cross-sections. *Journal of Econometrics* 1985; 30(1-2): 109-126.
- Deaton A. *The analysis of household surveys: a microeconomic approach to development policy*. The World Bank, 1997.
- Deaton AS., Paxson C. Saving, growth, and aging in Taiwan. In *Studies in the Economics of Aging* (pp. 331-362). University of Chicago Press, 1994.
- Deaton AS., Paxson CH. The effects of economic and population growth on national saving and inequality. *Demography* 1997; 34(1): 97-114.
- Deaton AS., Paxson CH. Aging and inequality in income and health. *The American Economic Review* 1998; 88(2): 248-253.
- Drescher LS., Roosen J. A cohort analysis of food-at-home and food-away-from-home expenditures in Germany. *German Journal of Agricultural Economics* 2013; 62: 39-51.
- Gilly MC., Enis BM. Recycling the family life cycle: A proposal for redefinition. *ACR North American Advances*, 1982.
- Glenn ND. *Cohort analysis*. Sage Publications, London, 2005.
- Godfrey LG. Testing for multiplicative heteroscedasticity. *Journal of econometrics* 1978; 8(2): 227-236.
- Haq ZU., Sherif S., Gheblawi M. Impact of socioeconomic and demographic characteristics of households on demand for Food Away from Home in the United Arab Emirates. *International Journal of Hospitality Management* 2014; 42: 92-99.
- Harris JM., Blisard N. Analyzing the impact of generational effects on consumer expenditures for meats: A cohort approach. *Journal of Food Distribution Research* 2001; 32: 64-73.
- Jang S., Ham S., Hong GS. Food-away-from-home expenditure of senior households in the United States: A double-hurdle approach. *Journal of Hospitality & Tourism Research* 2007; 31(2): 147-167.
- Jensen HH., Yen ST. Food expenditures away from home by type of meal. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie* 1996; 44(1): 67-80.

- Lancaster KJ. A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy* 1966; 74(2): 132-157.
- Lancaster KJ. A new theory of consumer demand. Columbia University Press, New York, 1971.
- Latimaha R., Bahari Z., Ismail NA. Food away from home of middle-income earners: Empirical evidence from the three major cities in Malaysia. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space* 2018; 14(4): 274-286.
- Liu H., Wahl TL., Seale Jr JL., Bai J. Household composition and food away from home expenditures in urban China. Agricultural & Applied Economics Association's AAEA Annual Meeting, August 12-14, 2012, Seattle, Washington.
- Liu H., Wahl TL., Seale Jr JL., Bai J. Household composition, income, and food-away-from-home expenditure in urban China. *Food Policy* 2015; 51: 97-103.
- Lührmann M. Consumer expenditures and home production at retirement—new evidence from Germany. *German Economic Review* 2010; 11(2): 225-245.
- Manrique J., Jensen HH. Working women and expenditures on food away-from-home and at-home in Spain. *Journal of Agricultural Economics* 1998; 49(3): 321-333.
- McCracken VA., Brandt JA. Household consumption of food-away-from-home: total expenditure and by type of food facility. *American Journal of Agricultural Economics* 1987; 69(2): 274-284.
- Mihalopoulos VG., Demoussis MP. Greek household consumption of food away from home: a microeconomic approach. *European Review of Agricultural Economics* 2001; 28(4): 421-432.
- Mori H., Lowe III EG., Clason DL., Gorman WD. Cohort analysis of food consumption: a case of rapidly changing Japanese consumption. *International Food and Agribusiness Management Review* 2000; 3: 189-205.
- Mutlu S., Gracia A. Spanish food expenditure away from home (FAFH): by type of meal. *Applied Economics* 2006; 38(9): 1037-1047.
- Nayga Jr RM., Capps Jr O. Impact of socio-economic and demographic factors on food away from home consumption: Number of meals and type of facility. *Journal of Restaurant & Foodservice Marketing* 1994; 1(2): 45-69.
- Nayga RM. Wife's labor force participation and family expenditures for prepared food, food prepared at home, and food away from home. *Agricultural and Resource Economics Review* 1996; 25(2): 179-186.
- Ogundari K., Aladejimosun AO., Arifalo SF. Household demand for food away from home (fafh) in Nigeria: the role of education. *The Journal of Developing Areas* 2015; 49(2): 247-262.
- Prochaska FJ., Schrimper RA. Opportunity cost of time and other socioeconomic effects on away-from-home food consumption. *American Journal of Agricultural Economics* 1973; 55: 595-603.
- Stewart H., Blisard N. Are younger cohorts demanding less fresh vegetables? *Review of Agricultural Economics* 2008; 30(1): 43-60.

- Tan AK. Demand for food-away-from-home in Malaysia: a sample selection analysis by ethnicity and gender. *Journal of Foodservice Business Research* 2010; 13(3): 252-267.
- Terin M. Determining factors in food away from home expenditure of Turkish households. *Applied Ecology and Environmental Research* 2019; 17(2): 3441-3455.
- Turkish Statistical Institute (TurkStat), Household budget survey, 2002-2018.
- Uzunoz M., Akcay Y., Aslan C. Factors affecting consumer preferences of food away from home in Tokat Province of Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 2011; 17(1): 597-605.
- Vuong QH. Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 1989; 1: 307-333.
- Wendt M., Kinsey JD. Do eating patterns follow a cohort or change over a lifetime? answers emerging from the literature. The food industry center, University of Minnesota, Working paper 2007.
- White H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica: journal of the Econometric Society* 1980; 48(4): 817-838.
- Yen ST. Working wives and food away from home: the Box-Cox double hurdle model. *American Journal of Agricultural Economics* 1993; 75(4): 884-895.
- Yen ST., Huang CL. Household demand for Finfish: a generalized double-hurdle model. *Journal of agricultural and resource economics*, 1996; 21(2): 220-234.
- Yen ST., Jones AM. Household consumption of cheese: an inverse hyperbolic sine double-hurdle model with dependent errors. *American Journal of Agricultural Economics* 1997; 79(1): 246-251.
- Yen ST., Su SJ. Modeling US butter consumption with zero observations. *Agricultural and Resource Economics Review* 1995; 24: 47-55.
- Zan HUA., Fan JX. Cohort effects of household expenditures on food away from home. *Journal of Consumer Affairs* 2010; 44(1): 213-233.

Atık Seramik CPU ve Telefon Kartlarında Altın ve Diğer Değerli Metallerin Geri Kazanımı

Alaaddin GÜNDEŞ^{1,2}, Ali DEĞİRMENCİ², Ali Kemal SOĞUKSU^{3*}

¹ Üniversite - Sanayi - Kamu İşbirliği Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kahramanmaraş

² Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş

³ Kahramanmaraş NP Bilim ve Sanat Merkezi, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0001-9030-0776>

²<https://orcid.org/0000-0002-4805-3983>

³<https://orcid.org/0000-0002-8370-5369>

*Sorumlu yazar: kemalsoguksu@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.04.2022

Kabul tarihi:28.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Altın

Değerli metal

E-Atık

Hidrometalürji

Artan dünya nüfusu ile gelişen teknolojik yeniliklerden dolayı hızla artan hammadde tüketimi ve bunun sonucunda oluşan atık ürünlerinden hammadde geri dönüşümü önem kazanmıştır. Özellikle değerli metaller açısından geri kazanım çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, bilgisayarlarda bulunan seramik işlemci (CPU) ve cep telefonu kartlarından değerli metallerin geri kazanımı amaçlanmıştır. Çalışmada ömürlerinin sonuna gelmiş Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlarından (EEE) olan seramik CPU ve telefon kartlarında bulunan değerli metaller fiziksel, hidrometalürji ve pirometalürjik yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Bu değerli metalleri içeren minerallerin yüksek değeri ve sınırlı rezervleri, değerli metallerin kentsel madenciliğini çok çekici kılmaktadır. Uygulanan yöntemler sürecinde değerli metal miktarları ICP-OES ile ölçülmüştür. Çalışmada diğer değerli metallerin yanı sıra seramik CPU'da altın (Au) oranı yaklaşık olarak 1119 mg/kg olarak bulunmuştur. Atık cep telefon kartlarında ise yaklaşık 54,40 mg/kg altın (Au) tespit edilmiştir.

Recovery of Gold and Other Precious Metals in Waste Ceramic CPUs and Phone Cards

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.04.2022

Accepted: 28.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Gold

Precious metal

E-Waste

Hydrometallurgy

Due to the increasing world population and the developing technological innovations, the rapidly increasing consumption of raw materials and as a result, the recycling of raw materials from waste products has gained importance. Especially in terms of precious metals, recovery is of great importance. In this study, it is aimed to recover precious metals from ceramic processors (CPU) in computers and mobile phone cards. This study, precious metals found in ceramic CPUs and telephone cards, which are electrical and electronic equipment (EEE) that have reached the end of their life, were obtained by using physical, hydrometallurgical and pyrometallurgical methods. The high value and limited reserves of minerals containing these precious metals make urban mining of precious metals very attractive. During the applied methods, precious metal amounts were measured with ICP-OES. In the study, besides other precious metals, the rate of gold (Au) in ceramic CPU was found to be approximately 1119 mg/kg. On the other hand, approximately 54.40 mg/kg of gold (Au) was detected in waste mobile phone cards.

To Cite: Gündeş A., Değirmenci A., Soğuksu AK. Atık Seramik CPU ve Telefon Kartlarında Altın ve Diğer Değerli Metallerin Geri Kazanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 140-150.

1. Giriş

Son yüzyılda gelişen teknoloji ile birlikte EEE kullanımında hızlı artış, sürekli değişkenlik ve hızlı tüketim olmaktadır. Teknolojik olarak modeli eskiyen teknolojik ürünlerin birikmesi çevresel ve hammadde sorununu beraberinde getirmektedir. Elektronik ürünlerde kullanılan hammaddelerin çevreye etkisi ve geri kazanımı stratejik önem kazanmaktadır. Geri kazanım, özellikle içerdikleri değerli metaller nedeniyle oldukça önem arz etmektedir. Avrupa Birliğinin WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment) ve RoHS(Restriction of Hazardous Substances) direktifleri ülkemizi yakından ilgilendirmektedir. Bu sebepten dolayı sanayide, e-atıkların bertaraf edilmesi ve geri dönüşümü zaruri hale gelmektedir. Bununla beraber yeni üretilen EEE'lerde tehlikeli ve zehirli metal kullanımının azaltılması da önem arz etmektedir. E-atıklar içeriklerindeki değerli metal oranları dikkate alındığında önemli bir ikincil kaynak olarak değerlendirilmektedir. Tipik bir altın cevherinde ton başına genellikle 0,5 ila 15 g altın bulunurken, 1 ton genişletme kartları ve merkezi işlem birimleri(CPU) genellikle sırasıyla yaklaşık 150 ve 10.000 g'ın üzerinde altın içerebilir (Barbieri ve ark., 2009). Böylece, e-atıktan altının geri kazanılması, hem ekonomik sürdürülebilir kalkınma hem de çevre koruma açısından giderek daha çekici hale geliyor (Bisceglie ve ark., 2017; Lu ve ark., 2017).

Baskılı devre kartları (PCB), tüm EEE'ler de bulunmakla birlikte bilgisayar ana kartlarında önemli ölçüde bulunmaktadır. Baskılı devre kartları (PCB), genel olarak seramikler, polimerler, metaller ve yapı malzemeleri içermekle birlikte bu malzemeler farklı oranlarda heterojen olarak bulunmaktadır (Carvalho ve ark., 2018). PCB içeriğinde bulunan metalik elementlerin yaklaşık olarak % 30'unu oluşturmaktadır. Bu metalik kısım incelendiğinde ise Cu, Fe, Al, Ni, Zn, Sn, Ag, Au ve Pd gibi değerli metaller ile Hg, Cd ve Pb gibi potansiyel toksik metaller dahil olmak üzere birçok metal içermektedir (Carvalho ve ark., 2018; Havlik ve ark., 2011; Cayumil ve ark., 2016; Arshadi ve ark., 2018).

EEE'ler içerisinde TV'ler, cep telefonları, PC'ler, dizüstü bilgisayarlar, tabletler, ev aletleri, elektrikli bileşenler, DVD'ler ve hesap makineleri gibi elektronik atıklar oldukça çeşitlilik göstermektedir. Aynı zamanda bu atıkların % 38 ile % 50 arasında değişen bir metal içeriğine sahiptirler (Karamanoğlu ve ark., 2016). Elektronik atıklardan metallerin geri dönüşüm süreci çevresel etki ve ekonomik yönden avantajlara sahiptir.

Geri dönüşüm çalışmaları içerisinde altın(Au)'nın geri kazanımı önem taşımaktadır. Elektronik atıkların içerisindeki değerli metallerin geri kazanılmasında uygulanan üç ayrı yöntem vardır. Bunlar; hidrometalurjik, pirometalurjik ve mekanik/fiziksel ayırma yöntemleridir.

Hidrometalurjik yöntem; katı maddelerin asit veya aşındırıcı liç işlemlerine tabi tutulmasıyla oluşturulmaktadır. Bu işlemlerden sonra çözeltiler metal konsantrasyonunun artırılması ve safsızlaştırılması için solvent ekstraksiyonu, iyon değişimi ve adsorpsiyon gibi işlemleri içermektedir. Bu çözeltilerdeki metal geri kazanımı için kristalizasyon, kimyasal redüksiyon ya da elektrolitik arıtım işlemleri uygulanmaktadır. Pirometalurjik yöntem; elektronik atıkların içerisinde bulunan demir içermeyen metallerin geri kazanılması için kullanılan metottur. Bu prosesin amacı paladyum ve platin gibi metallerin konsantre halde geri kazanılmasını sağlamaktır. Mekanik ve fiziksel ayırma

yöntemleri; elektrik iletkenlik temelli ayırıcılar, manyetik ayırma, eleme/ayırma ve şekil ayrımı vasıtası ile gerçekleştirilir.

E-atıkların geri dönüşümü için Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA), işlenmemiş malzemeler yerine atık metallerin kullanılmasının enerjinin korunması ve kirliliği azaltma gibi birçok önemli avantajı olduğunu belirtmektedir (Cui ve ark., 2008).

E-atıkların %3,1'lik bir kısmını PCB'ler oluşturmaktadır (Tuncuk ve ark., 2012). PCB'lerde ağırlıkça %18,448 bakır(Cu), %0,156 gümüş(Ag), %0,039 altın(Au) ve %0,009 paladyum(Pd) bulunmaktadır. PCB bileşimleri (Chehade ve ark., 2012) yüzde ağırlıkça bakır(Cu) için 18,448, gümüş(Ag) için 0,156, altın(Au)'da 0,039, paladyum(Pd) için 0,009'dur. PCB'lerdeki değerli metal konsantrasyonlarının doğal cevherlerinden zengin olması, PCB'lerin geri dönüşümünü ekonomik ve çevresel açıdan önemli hale getirmektedir.

PCB'ler, Cu, Ag, Au ve Pd değerli metal kaynağı açısından önemli olması sebebiyle geri dönüşümlerde özellikle bu metallerin geri kazanılmasına odaklanılmaktadır (Li ve ark., 2012).

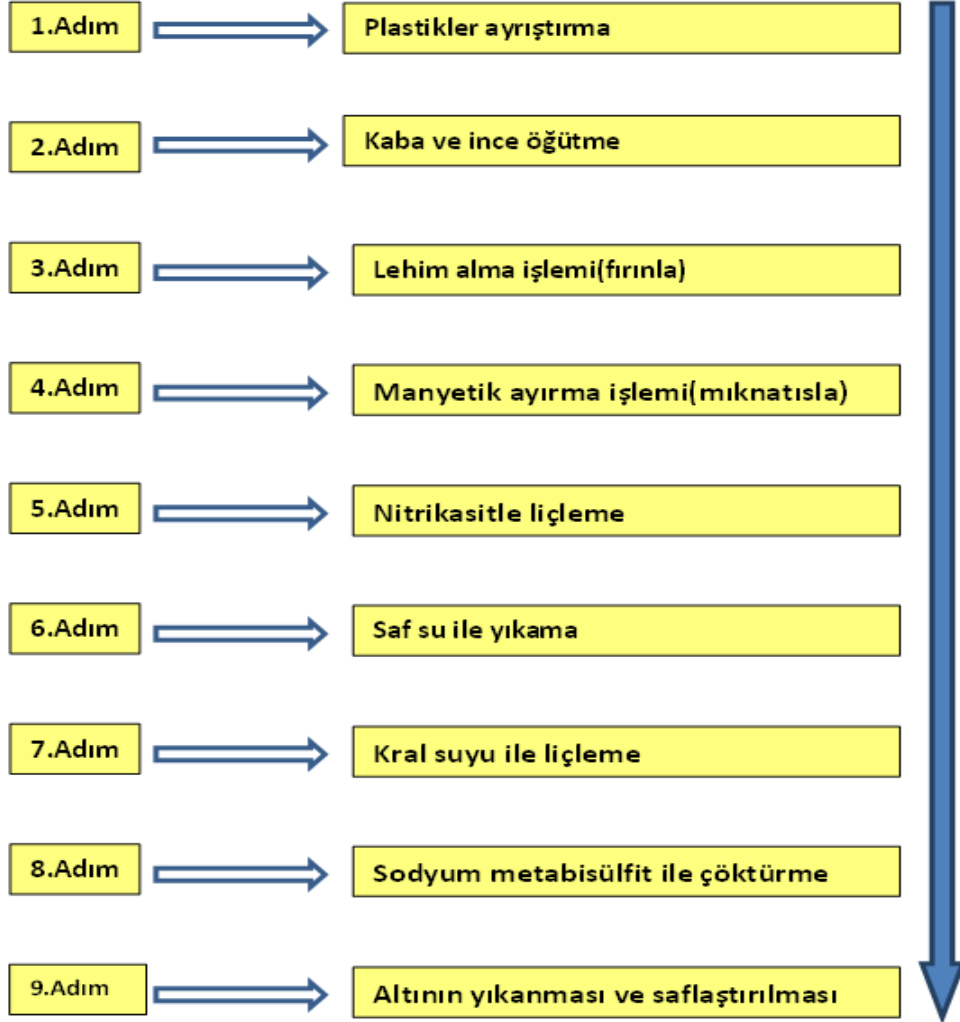
Yapılan çalışmada atık durumda bulunan bilgisayarların seramik işlemci (CPU) ve telefon kartlarından değerli metallerin fiziksel, hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemler ile geri dönüşüm şeklinde elde edilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca değerli metallerin kazanımı çalışmalarında fiziksel ayırılmadan sonra genellikle hidrometalurjik yada pirometalurjik yöntemlerden sadece biri kullanılırken (Li ve ark., 2018; Ashiq, 2019; Wang ve ark., 2017; Ma, 2019) çalışmamızda bu her iki yöntem beraber kullanılmıştır. Çalışmamızda aynı yöntem ve süreçler kullanılarak, CPU işlemcileri ve telefon kartı atıklarından elde edilebilecek malzemelerin karşılaştırılmasına bakılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

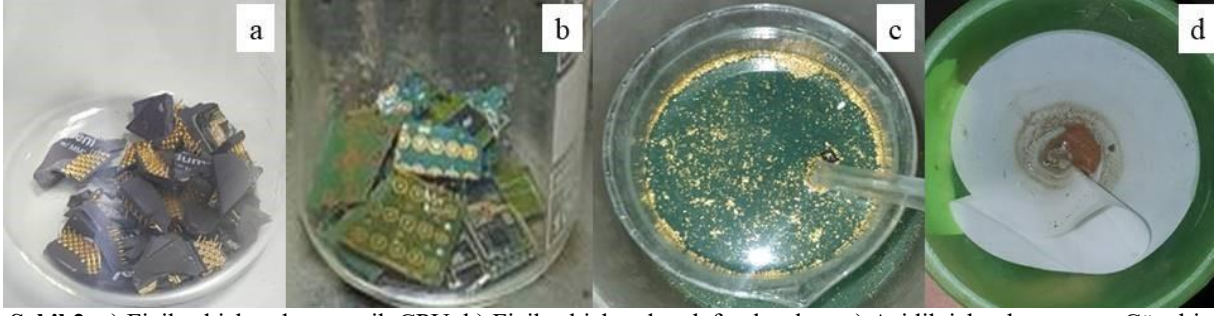
Bu çalışmada seramik CPU ve telefon kartlarının Fiziksel, hidrometalurjik ve pirometalurjik yöntemlerle geri dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler; Hidroklorik Asit (HCl--Merck), Nitrik Asit (HNO_3 --Sigma-Aldric), Sodyum metabisüfit ($Na_2S_2O_5$ --Sigma-Aldric) şeklindedir. Çalışmamızda altın ve diğer değerli metal içeren atıklara sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de ayırtmaya yönelik temel işlem basamaklarının şeması gösterilmektedir. Temin edilen baskılı devre kartları fiziksel ayırtmaya tabi tutulmuştur. Birinci adımdan, dördüncü adıma kadarki süreci kapsayan fiziksel ayırma işleminde, öncelikle plastik ayırma işlemi yapılmış ardından kaba ve ince öğütmelerle malzeme bir sonraki lehim alma işlemine hazırlanmış hale getirilmiştir. Lehim alma işlemi fırın kullanılarak yapılmıştır. Lehim alma işleminden sonra mıknatısla manyetik ayırma işlemi uygulanarak manyetik özelliğe sahip malzemeler öğüntü içerisinde ayrılmıştır. Ardından beşinci adımdan sekizinci adıma kadarki süreci kapsayan işlemler hidrometalurjik süreci göstermektedir. Baskılı devre kartlarında ana metal olan bakır ve nikel, 10M nitrik asit konsantrasyonunda, 65

°C sıcaklıkta 500 ml nitrikasit çözeltisi içerisinde 200 rpm/dk hızla 2 saat süre ile karıştırma işlemi ile liçleme yapılarak ayrıştırılmıştır. Son ayırma işlemi ile bakır ve nikelinden ayrılan öğüntü malzeme saf suyla yıkandıktan sonra dokuzuncu adım olan pirometalujik işlemine geçilmiştir.



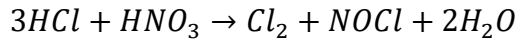
Şekil 1. Temel işlem şeması.

Şekil 2’de ise deneysel çalışmalara ait görsellerden örnekler görülmektedir.

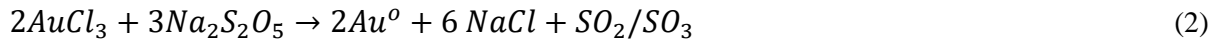
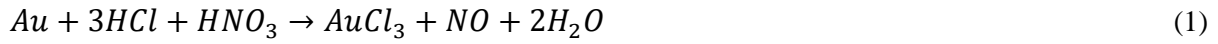


Şekil 2. a) Fiziksel işlemde seramik CPU, b) Fiziksel işlemde telefon kartları, c) Asidik işlemler sonrası Çözelti, d) Süzme işlemi sonrası değerli metal

90 ml kral suyu konsantrasyonunda, 50 °C sıcaklığında 500 ml çözelti içerisine konulan öğütü malzeme 2 saat süre ile 200 rpm/dk karıştırma hızı ile işleme alınmıştır. Asit konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisinin e-atıklar içerisinden değerli metallerin geri kazanımında önemli rol oynamaktadır (Ünal, 2015). Kral suyu, altın ve platin metaliyle tepkimeye girebilen güçlü bir asit çözeltisidir. Kral suyu çözeltisi 3/1 oranda hidroklorik asit/nitrik asit karışımıdır.



Kral suyunun çözelti içerisinde tamamen çözünen altının çöktürülmesinde sodyum metabisülfid kimyasalı kullanılmıştır. Reaksiyon formülü;



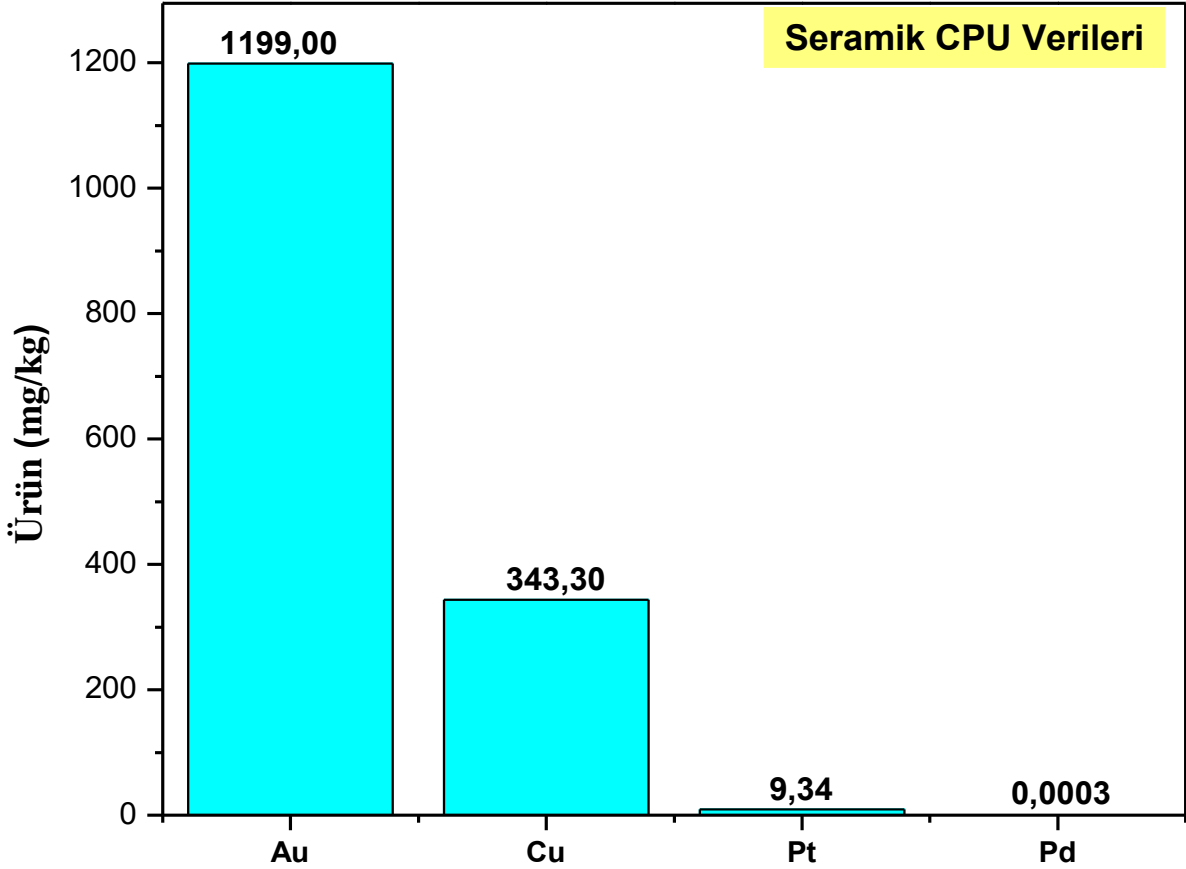
Kral suyu ($3HCl + HNO_3$) içindeki çözünen altın iyonları redüklenerek çöktürme işlemi tamamlandıktan sonra vakum nüce yardımı ile katı sıvı ayrımı yapılmıştır. Çözelti içerisindeki metal konsantrasyonunun artırılması ve safsızlaştırılması için, iyon değişimi, adsorpsiyon ve solvent ekstraksiyonu gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Çözeltilerdeki metallerin geri kazanılması için; kristalizasyon, kimyasal redüksiyon veya elektrolitik arıtım işlemleri uygulanmaktadır (Ritcey ve ark., 2006; Safarzadeh ve ark., 2007). Elde edilen çözelti sıvılardan 10 ml alınarak ICP-OES(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometers) ile analizi yapılmıştır. Elde edilen sıvı örneklerinden altın(Au), bakır(Cu), çinko(Zn), demir(Fe), kalay(Sn), paladyum(Pd) ve platin(Pt) değerli metallerin analizi yapılmıştır. Mutlak konsantrasyonlarının belirlenmesi için ICP-OES analizleri üç okuma şeklinde Perkin Elmer Optima 2100 DV model cihaz ile yapılmıştır. ICP-OES cihaz kalite kontrolleri, standart referans maddeleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Sonuçlar analizler için ortalama şeklinde ifade edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Seramik CPU ve telefon kartlarında değerli metallerin geri kazanımı yapılarak ICP-OES ile geri kazanımı sağlanan metallerin analizleri yapılmıştır.

3.1. Seramik CPU Analizi

Seramik CPU malzemelerine ait analiz sonuçları Şekil 4



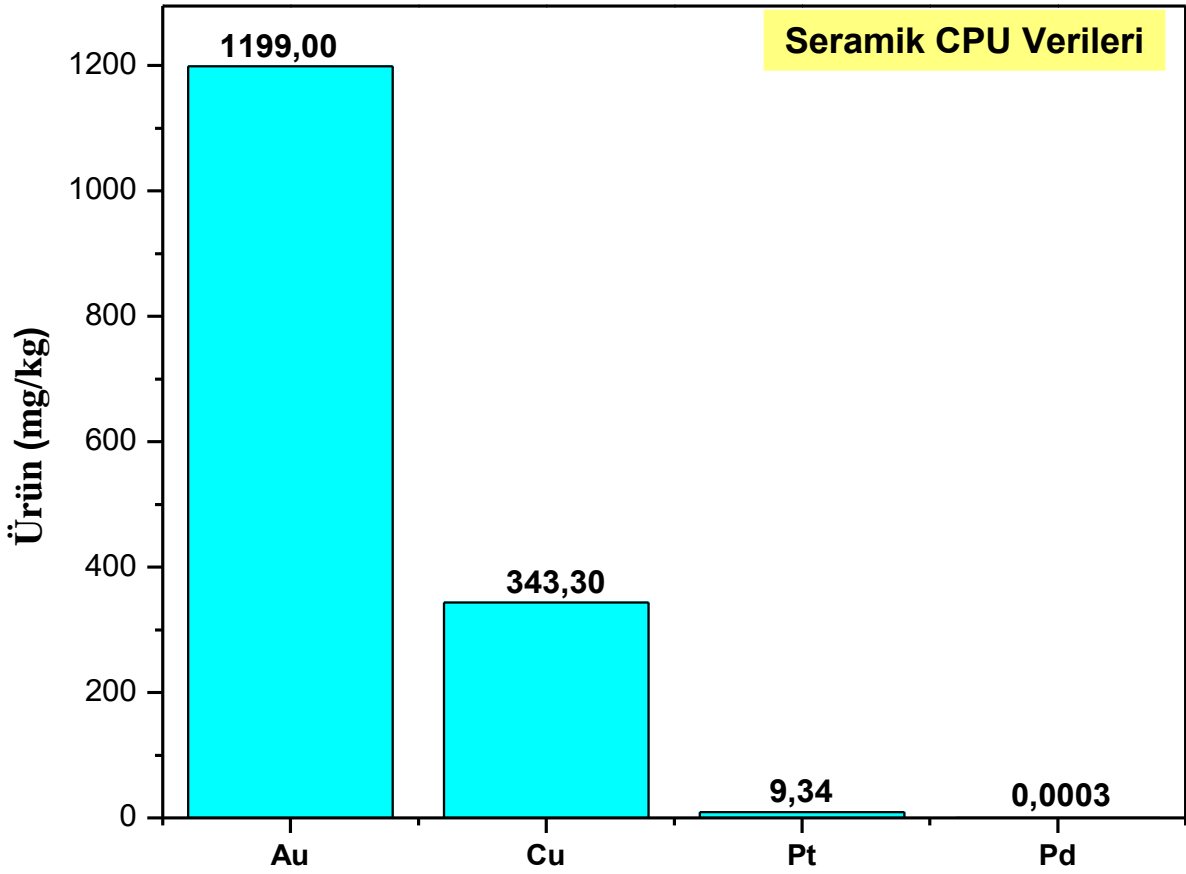
Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3 ise çalışmada kullanılan CPU görsellerine aittir. İncelenen değerli metaller içerisinde en fazla oran 1199 mg/kg Altın(Au) değerli metaline aittir. Seramik CPU'lardan elde edilen ikinci en yüksek oran ise 343,30 mg/kg ile nitrik asitten sonra altınla birlikte ayrışamayan bakır(Cu) metaline aittir. ICP-OES sonuçlarına göre 0,0003 mg/kg ile en az miktar Paladyum(Pd) malzemesine aittir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan CPU

Bir ton PC(kişisel bilgisayar) atığından elde edilen altının miktarı, 17 ton altın cevherinden elde edilen altın miktarından çok daha fazladır (Çiftlik ve ark., 2009). Seramik CPU'lar önemli miktarda altın içermektedir (Sinioros ve ark., 2015). Seramik CPU analizlerinde bulunan değerli metal miktarları sırasıyla Au>Cu>Pt>Pd şeklinde olduğu görülmüştür. Altın, bakır, gümüş, paladyum ve platin gibi metaller, e-atıkların geri kazanımı karlı bir süreç haline dönüştüren değerli metaller olarak bilinmektedir (Onay, 2019). Yapılan çalışmada en yüksek miktar ise altın(Au)'a aittir. Farklı yöntemlerin kullanılması sonucunda geri dönüşümden elde edilen madde miktarları değişiklik gösterebilmektedir. Analizler de platin eldesi sağlanmıştır.

Seramik CPU ile yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Farklı oranlar olmasının sebepleri arasında seramik CPU olarak farklı firma ürünleri kullanılması ve kullanılan metodun farklılık göstermesi olduğu öngörülmektedir.



Şekil 4. Seramik CPU' dan değerli metal bulguları

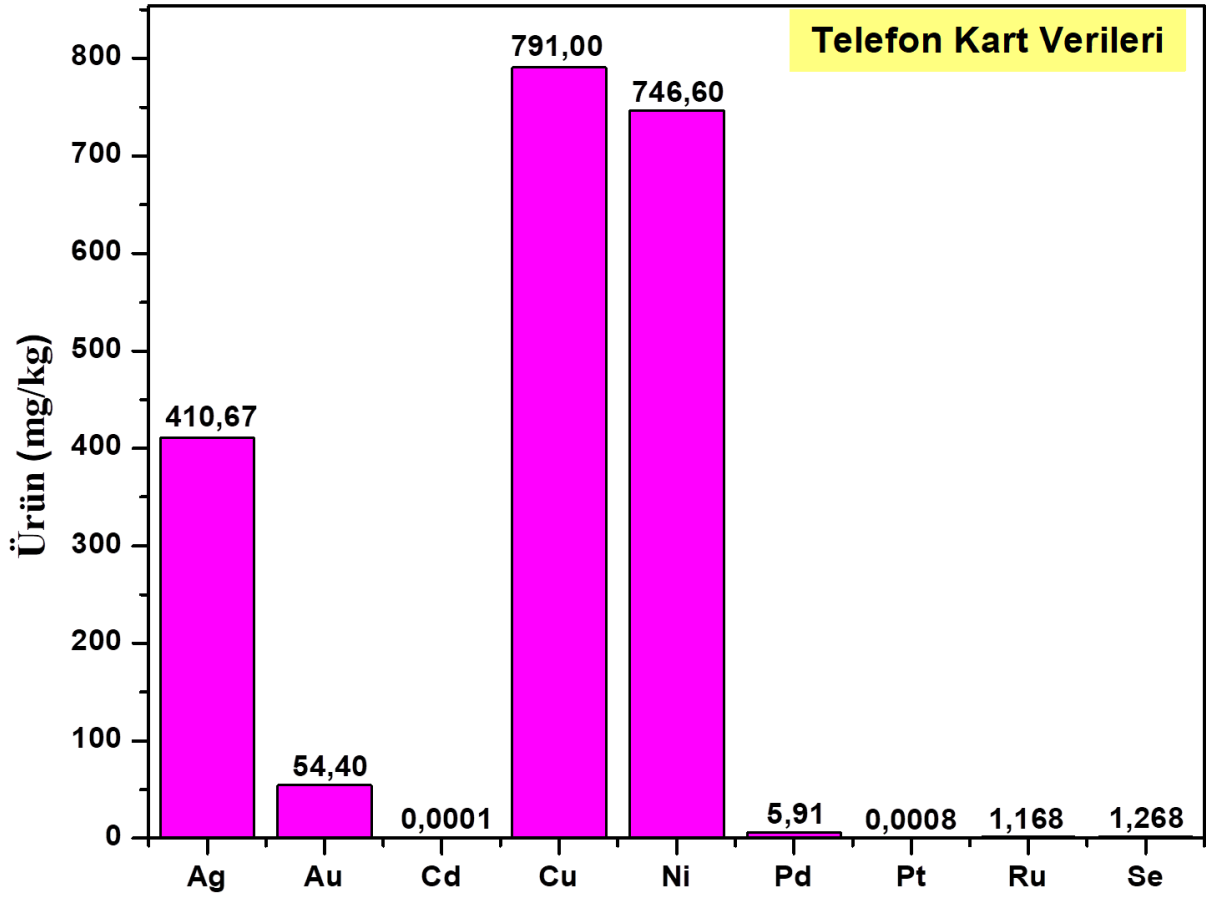
3.2. Telefon Kartı Analizi

Çalışmada kullanılan telefon kartlarına ait basit görsel örneği ise Şekil 5'te verilmiştir. Telefon kartları, temel işlem şemasındaki (Şekil 1) işlemlerden geçirilmiştir. Şekil 6'da Telefon kartları malzemelerine ait ICP-OES analiz verileri görülmektedir. Analiz bulgularına göre altın oranı 54,40 mg/kg olarak bulunmuştur. En düşük veri ise kadmilyum(Cd) metaline ait 0,0001 mg/kg olduğu

görülmüştür. Kadmiyum çok küçük miktarlarda çıkması literatür taramaları ile uyumludur (Rao ve ark., 2022). Şekil 6'da verilen ICP-OES analiz verilerine göre sıralama yapılacak olursa Bakır(Cu)>Nikel(Ni)>Gümüş(Ag)>Altın(Au)>Paladyum(Pd)>Selenyum(Se)>Rutenyum(Ru)>Platin(Pt)>Kadmiyum(Cd) şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan telefon kartları



Şekil 6. Telefon Kartları Verileri

Cep telefonu ağırlığının yaklaşık %23 metallerden oluşmaktadır ve bu oranın oldukça büyük bir bölümü bakırdır. Arta kalan kısım ise seramik ve plastiktir (Yaren ve ark., 2014). Farklı araştırmacılar, değerli metallerin (özellikle altın) elektronik atıklardan etkin bir şekilde geri kazanımının mümkün olduğunu belirtmişlerdir (Syed ve ark., 2012; Sum, 1991; Dehchenari ve ark., 2017).

Geri dönüşüm teknolojisi, e-atıkların, milyarlarca dolarlık eritme tesislerinin kurulumu ile ilgili maliyetlerin bir kısmında, yüksek verimlilik ve düşük karbon ayak izi ile çevre dostu bir şekilde işlenmesi sağlanmalıdır. Bunun sonucunda enerji verimliliği artar ve yeni hammadde madenciliğine bir nebze de olsun katkı sağlar (Kaya, 2016). Geri kazanımının yüksek maliyeti ve zorlukları, endüstriyel uygulamalarını sınırlamaktadır. Geri kazanım uygulamalarında çevreye zararında minimize edilmesi önem taşımaktadır.

4. Sonuç

Hem elektronik atık yönetimi hem de geri dönüşüm, minimum çevresel etki ve maksimum değerli metal geri kazanımı açısından önemlidir. Buna ekonomik analiz ve fizibilite çalışmalarının sonuçlarına göre karar verilmelidir.

Bu çalışmada CPU işlemci kartları ve cep telefonu kartları gibi atık baskı kartlar üzerindeki değerli metallerin geri kazanımı amaçlanmıştır. E-atıkların geri kazanımında daha ekonomik olan yöntemler kullanılmıştır.

Seramik CPU'lar üzerinde yapılan çalışma sonucunda 1199 mg/kg oranında altın(Au) geri kazanımı sağlanmıştır. Ayrıca altın dışında da yapılan sıvı analizlerinde tespit edilen diğer değerli metaller ise sırasıyla bakır(Cu), platin(Pt), ve paladyum(Pd) şeklinde olmuştur. En düşük oran 0,003 mg/kg ile paladyum metaline aittir.

Ayrıca cep telefon kartları üzerinde değerli metal analizlerinde ise 54,40 mg/kg altın geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Geri kazanımı sağlanan diğer metaller ise bakır(Cu), nikel(Ni), gümüş(Ag), paladyum(Pd), selenyum(Se), rutenyum(Ru), platin(Pt) ve kadmiyum(Cd) şeklinde olmuştur.

Geri kazanımı sağlanan bu değerli metallere altın, gümüş, bakır, paladyum kuyumculuk-mücevher ve elektronik alanlarında, alüminyum, bakır ve nikel ise döküm sektöründe hammadde olarak kullanılabilir. Ayrıca platin otomotiv-kimya sektörü, rutenyum ise elektronik sanayisinde kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Çalışmamız olan “2018/3-11 YLS” numaralı bu proje Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Ayrıca çalışmamız Kosgeb Arge İnovasyon program desteği almıştır. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine ve KOSGEP'e teşekkürlerimizi sunarız.

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

- Arshadi M., Yaghmaei S., Mousavi SM. Content evaluation of different waste PCBs to enhance basic metals recycling. *Resources, Conservation and Recycling* 2018; 139: 298-306.
- Ashiq A. Hydrometallurgical recovery of metals from e-waste. *Electronic Waste Management and Treatment Technology* 2019; 225–246.
- Barbieri L., Giovanardi R., Lancellotti I., Michelazzi M. A new environmentally friendly process for the recovery of gold from electronic waste. *Environmental Chemistry Letters* 2009; 8(2): 171-178.
- Bisceglie F., Civati D., Bonati B., Faraci FD. Reduction of potassium cyanide usage in a consolidated industrial process for gold recovery from wastes and scraps. *Journal of Cleaner Production* 2017;142: 1810–1818.
- Carvalho MA., Caldas MPK., Tenório JAS., Espinosa DCR. Characterization of PCBs from obsolete computers aiming the recovery of precious metals. *Characterization of Minerals, Metals, and Materials* 2018; 147-154.
- Cayumil R., Khanna R., Rajarao R., Mukherjee PS., Sahajwalla V. Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste. *Waste management* 2016; 57: 121-130.
- Cehade Y., Siddique A., Alayan H., Sadasivam N., Nusri S., Ibrahim T. Recovery of gold, silver, palladium, and copper from waste printed circuit boards. In *Proceedings of the international conference on chemical, civil and environment engineering (ICCEE)*, 2012; 226-234, Dubai.
- Cui J., Zhang L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. *Journal of hazardous materials* 2008; 158(2-3): 228-256.
- Çiftlik S., Handırı İ., Beyhan M., Utku A., Ilgar M., Gönüllü T. Elektrikli ve elektronik Atıkların (E-Atık) yönetimi, ekonomisi ve metal geri kazanım potansiyeli bakımından değerlendirilmesi. *Türkiye'de katı atık yönetimi sempozyumu*, 2009; TÜRKAY2009.
- Dehchenari MA., Hosseinpoor S., Aali R., Iran NS., Mehdipour M. Simple method for extracting gold from electrical and electronic wastes using hydrometallurgical process. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 2017; 4(1): 55–58.
- Havlik T., Orac D., Petranikova M., Miskuliova A. Hydrometallurgical treatment of used printed circuit boards after thermal treatment. *Waste Management* 2011; 31(7): 1542-1546.
- Karamanoğlu P., Aydın S. An economic analysis of the recovery of gold from CPU, boards, and connectors using aqua regia. *Desalination and Water Treatment* 2016; 57(6): 2570-2575.
- Kaya M. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *Waste Management* 2016; 57: 64-90.
- Li H., Eksteen J., Oraby E. Hydrometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives – A review. *Resources, Conservation and Recycling* 2018; 139(), 122–139.

- Li J., Zeng X. Recycling printed circuit boards. In Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook 2012; 287-311.
- Lu Y., Xu Z. Recycling non-leaching gold from gold-plated memory cards: Parameters optimization, experimental verification, and mechanism analysis, Journal of Cleaner Production 2017; 162: 1518-1526.
- Ma E. Recovery of waste printed circuit boards through pyrometallurgy. Electronic Waste Management and Treatment Technology 2019; 247–267.
- Onay P. Elektronik atıklardan kimyasal yöntemlerle değerli metallerin geri kazanımı. İstanbul Üniv-Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- Rao MD., Singh KK., Morrison CA., Love JB. Selective recovery of nickel from obsolete mobile phone PCBs. Hydrometallurgy 2022; 210: 105843
- Ritcey GM. Solvent extraction in hydrometallurgy: present and future. Tsinghua Science and Technology 2006; 11(2): 137-152.
- Safarzadeh MS., Bafghi MS., Moradkhani D., Ilkhchi MO. A review on hydrometallurgical extraction and recovery of cadmium from various resources. Minerals Engineering 2007; 20(3): 211-220.
- Sinioros P., Lasithiotakis M., Akidil ME. Small-capacity gold production tests from waste desktop computers. Environmental Quality Management 2015; 25(2): 5–6.
- Sum EY. The recovery of metals from electronic scrap. JOM 1991; 43(4): 53-61.
- Syed S. Recovery of gold from secondary sources-A review. Hydrometallurgy 2012; 115-116: 30-51.
- Tuncuk A., Stazi V., Akcil A., Yazici EY., Devci H. Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: hydrometallurgy in recycling. Minerals Engineering 2012; 25(1): 28-37.
- Ünal Ö. Ram belleklerdeki metalik değerlerin hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- Wang H., Zhang S., Li B., Pan D., Wu Y., Zuo T. Recovery of waste printed circuit boards through pyrometallurgical processing: A review. Resources, Conservation and Recycling 2017; 126(): 209–218.
- Yaren MF., Taşkin MF., Uygun Ö., Alp A. Atık ekonomisi ve elektronik atıklarını değerlendirilmesinin önemi. ISEM2014, 2014; sayfa no: 630-642, Adıyaman.

On Vertex-Edge Degree Based Properties of Sierpinski Graphs

Süleyman EDİZ^{1*}

¹Department of Mathematics Education, Faculty of Education, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-0625-3634>

*Corresponding author: suleymanediz@yyu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 06.04.2022

Accepted: 02.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Vertex-edge degree
Vertex-edge degree based
topological indices
Topological indices
Sierpinski graphs
MSC: 05C09, 05C07, 05C90

ABSTRACT

Network science and graph theory are two important branches of mathematics and computer science. Many problems in engineering and physics are modeled with networks and graphs. Topological analysis of networks enable researchers to analyse networks in relation to some physical and engineering properties without conducting expensive experimental studies. Topological indices are numerical descriptors which are defined by using degree, distance and eigen value notions in any graph. Most of the topological indices are defined by using classical degree concept in graph theory, network and computer science. Recently two novel degree parameters have been defined in graph theory: Vertex-edge degree and Edge-vertex degree. Vertex-edge degree and edge-vertex degree based topological indices have been defined parallel to their corresponding classical degree counterparts. Sierpinski networks have important applications engineering science especially in computer science. Classical degree based topological properties of Sierpinski graphs have been investigated by many studies. In this article, vertex-edge degree based topological indices values of Sierpinski graphs have been computed.

Sierpinski Graflarının Tepe-Ayrıt Temelli Derece Özellikleri Üzerine

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.04.2022

Kabul tarihi: 02.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Tepe-ayrırt derecesi
Tepe-ayrırt derece temelli topolojik
indeksler
Topolojik indeksler
Sierpinski grafları
MSC: 05C09, 05C07, 05C90

ÖZ

Ağ bilimi ve çizge teorisi, matematik ve bilgisayar biliminin iki önemli dalıdır. Mühendislik ve fizikle ilgili birçok problem, ağlar ve çizgelerle modellenir. Ağların topolojik analizi, araştırmacıların pahalı deneysel çalışmalar yürütmeden, ağları bazı fiziksel ve mühendislik özellikleriyle ilgili olarak analiz etmelerini sağlar. Topolojik indeksler, herhangi bir çizgede derece, uzaklık ve öz değer kavramları kullanılarak tanımlanan sayısal tanımlayıcılardır. Topolojik indekslerin çoğu, çizge teorisi, ağ ve bilgisayar bilimlerinde klasik derece kavramı kullanılarak tanımlanır. Yakın zamanda çizge teorisinde iki yeni derece parametresi tanımlanmıştır: Tepe-ayrırt derecesi ve ayrırt-tepe derecesi. Tepe-ayrırt ve ayrırt-tepe derece temelli topolojik indeksler, klasik derece karşılıklarına paralel olarak tanımlanmıştır. Sierpinski ağları mühendislik bilimi açısından özellikle bilgisayar bilimleri açısından önemli bir uygulama alanına sahiptir. Sierpinski çizgelerinin klasik derece tabanlı topolojik özellikleri birçok çalışmada incelenmiştir. Bu makalede, Sierpinski çizgelerinin tepe-ayrırt derece temelli topolojik indeks değerleri hesaplandı.

To Cite: Ediz S. On Vertex-Edge Degree Based Properties of Sierpinski Graphs. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 151-160.

1. Introduction

Sierpinski graphs are fractal like graphs. Sierpinski networks have an important place in view of engineering science especially in computer science. Sierpinski networks have been used in to develop novel electronic and communication networks to facilitate information analysis in view of network security systems. There are close relationships between Sierpinski graphs and Hanoi graphs (Hinz et al., 2013).

Topological indices are used to investigate network topology for physical properties of these networks. Topological indices are numerical descriptors which are defined by using degree, distance and eigenvalue notions in any graph. Most topological indices are defined by using classical degree concepts in graph theory, network and computer science. Computing topological indices for Sierpinski graphs has been intensively rising recently. Until now, many classical degree based topological indices such as Randić, Zagreb, atom-bond connectivity, geometric-arithmetic, sum-connectivity indices have been computed as indicated below. Degree-based topological indices and structural properties of the Sierpinski networks have been investigated in (Liu et al., 2019). Polymeric graphs and networks modelled by using Sierpinski graphs were examined by means of the general Randić index in (Estrada-Moreno and Rodriguez-Velazquez, 2019). Classical degree based topological features of Sierpinski networks were calculated in (Imran et al., 2017). The Graovac-Pisanski index of Sierpinski networks was reckoned in (Fathalikhani et al., 2020). Computation of Zagreb polynomials and Zagreb indices of Sierpinski networks was investigated in (Siddiqui, 2020). Certain topological features of uniform subdivision of Sierpinski networks were calculated in (Liu et al., 2021). General classical valency based topological properties and polynomials of Sierpinski graphs have been determined in (Fan et al., 2021). Two novel degree concepts; edge vertex degree and vertex edge degree notions systematically were defined in (Chellali et al., 2017). Vertex-edge degree and vertex-edge degree based topological indices have been defined by the present author (Ediz, 2017a), (Ediz, 2017b) and (Ediz, 2018). It has been shown that vertex-edge degree and edge-vertex degree based topological indices are possible tools for QSPR researches. After that many researches have been started to study mathematical and chemical properties of vertex-edge degree and edge-vertex degree based topological indices. Some related references could be seen the following articles. Edge-vertex and vertex-edge irregularities of graphs were investigated in (Horoldagva et al., 2019). Neural networks with cellular structures have been analysed in terms of vertex-edge irregularity points of view in (Husain et al., 2022). Vertex-edge degree based topological properties of metal trihalides network were computed in (Abolaban et al., 2021). Vertex-edge domination parameters of networks were calculated in (Żyliński, 2019). Vertex-edge degree and edge-vertex degree based topological features of single walled titanium dioxide nanotubes were analysed in (Zhang et al., 2021). Vertex-edge degree and edge-vertex degree related entropies firstly defined and investigated in terms of first Zagreb index entropies of networks in (Şahin and Şahin, 2021). Hexagon star graphs have been analysed with regard to vertex-edge degree topological properties in (Refaee and Ahmad, 2021). Edge-vertex based molecular topological features

DOX, RTOX and DSL Networks were investigated in (Cancan, 2019). Anti-cancer drug conjugates which contains hyaluronic acid have been investigated with regard to vertex-edge degree based topological features in (Kirmani et al., 2021).

This topic is a currently popular research area in view of computer science, network science, graph theory, physics and chemistry (Nacaroğlu and Maden, 2017(a); Nacaroğlu and Maden, 2017(b); Akgüneş and Nacaroğlu, 2019; Hong et al., 2020; Havare, 2021; Çolakoğlu, 2022; Estrada, 2022).

In this paper, we firstly computed vertex-edge degree based topological properties of Sierpinski graphs.

2. Materials and Method

In this section, necessary theoretical structures have been given. Let $G = (V(G), E(G))$ be simple connected graphs with the edge set $E(G)$ and the vertex set $V(G)$ and $u, v \in V(G)$ and $uv \in E(G)$ throughout in paper.

Definition 1. The vertex-edge degree of the vertex v , $deg_{ve}v$, is the number of all different edges between the vertex v and the other vertices with distance at most two from the vertex v .

Definition 2. The formula of the first vertex edge degree-based Zagreb alpha index of the graph G is;

$$M_1^{\alpha ve}(G) = \sum_{v \in V(G)} deg_{ve}v^2 \quad (1)$$

Definition 3. The formula of the first vertex edge degree-based Zagreb beta index of the graph G is;

$$M_1^{\beta ve}(G) = \sum_{uv \in E(G)} (deg_{ve}u + deg_{ve}v) \quad (2)$$

Definition 4. The formula of the second vertex edge degree-based Zagreb index of the graph G is;

$$M_2^{ve}(G) = \sum_{uv \in E(G)} deg_{ve}u deg_{ve}v \quad (3)$$

Definition 5. The vertex edge degree based Randic index of the graph G defined as;

$$R^{ve}(G) = \sum_{uv \in E(G)} (deg_{ve}u deg_{ve}v)^{-1/2} \quad (4)$$

Definition 6. A Sierpinski graph, where $n \geq 1, k \geq 1, S(n, k)$, has vertex set $\{1, 2, \dots, k\}^n$, and there is an edge between two vertices $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ and $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ iff there is an $s \in \{1, 2, \dots, n\}$ such that:

- $u_l = v_l$ for $l=1, 2, \dots, s-1$
- $u_s \neq v_s$
- $u_l = v_j$ and $u_j = v_l$ for $l=s+1, s+2, \dots, n$.

Sierpinski graphs, $S(n, k)$, were defined originally in 1997 (Klavzar et al., 1997).

Some examples of Sierpinski graphs, see Figures 1, 2 and 3.

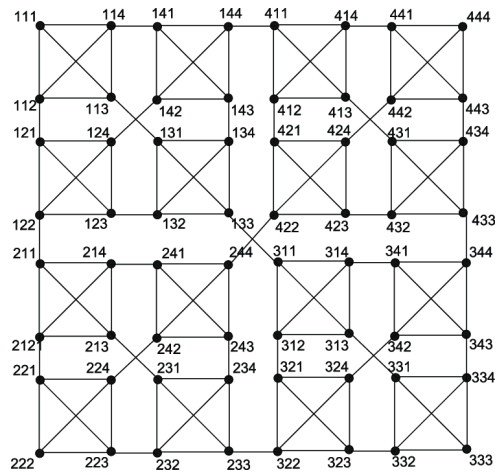


Figure 1. The Sierpinski graph $S(3,4)$ (Klavzar et al., 1997).

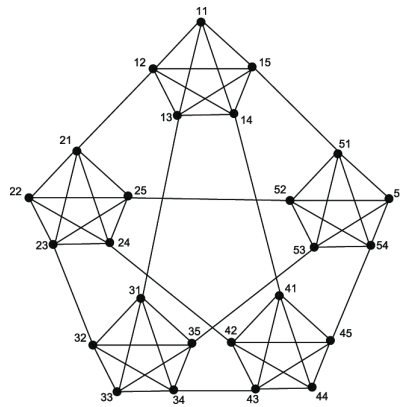


Figure 2. The Sierpinski graph $S(2,5)$

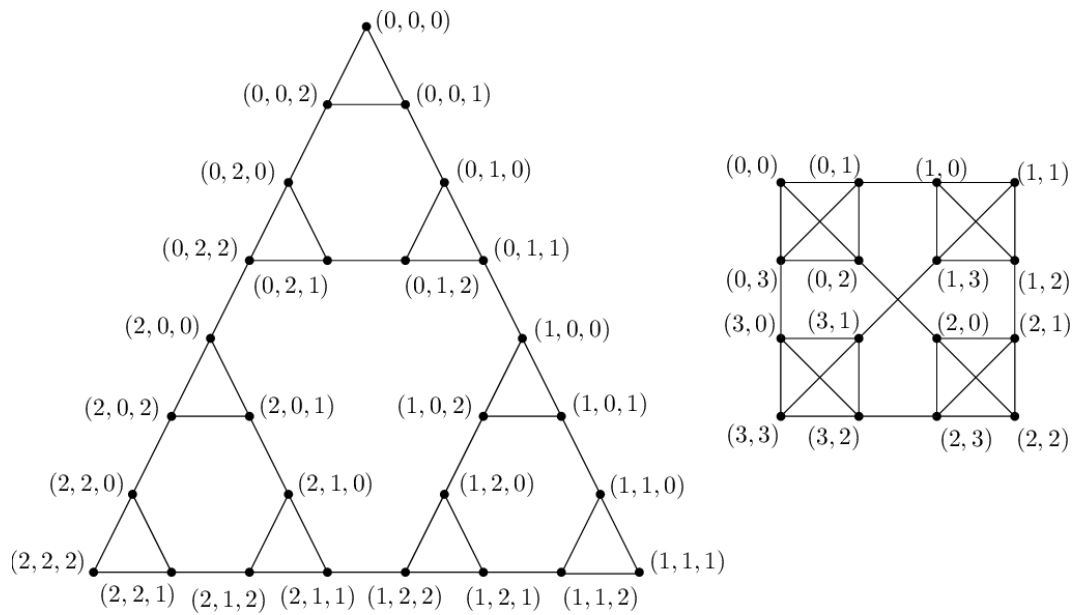


Figure 3. The Sierpinski graphs $S(3,3)$ and $S(2,4)$

A vertex of $S(n, k)$ of the form $i, i, \dots, i \in \{1, 2, \dots, k\}$ will be called an extreme vertex and the other vertices are called inner vertices. The degree of extreme vertices is $k - 1$, while the degree of the inner vertices is k . The edges of $S(n, k)$ that lie in no induced K_k are called bridge edges. Note that bridge edges consist of the vertices (i, j, \dots, j) and (j, i, \dots, i) for $i \neq j$.

3. Results and Discussion

In this section we begin to compute vertex-edge numerical descriptors for the Sierpinski graphs. Following lemmas are indispensable tools for our calculations.

Lemma 1. (Daniele, 2009) $S(n, k)$ has k extreme vertices with degree $\frac{k}{2}(k^n - 1) - 1$ and $k^n - k$ inner vertices with degree k .

Lemma 2. (Daniele, 2009) $S(n, k)$ has $\frac{k}{2}(k^n - 1)$ edges.

From the definition of the Sierpinski graphs and above lemmas, we can directly state the following observation and lemmas.

Observation 3. Let $S(n, k)$ be a Sierpinski graph. $S(n, k)$ consists of two kinds of edges according to with endpoints. The first kind of edges are with endpoints inner-extreme vertices and second kind of edges with endpoints extreme-extreme vertices.

Lemma 4. Let $S(n, k)$ be a Sierpinski graph then the number of the first kind of edges (inner vertex-extreme vertex) is $k(k - 1)$.

Proof. There are k extreme vertices each of them adjacent to $k - 1$ vertices. That is there are k extreme vertices each of them incident to $k - 1$ edges. From this, we get that $S(n, k)$ has $k^2 - k$ edges with end points are between inner and extreme vertices.

Lemma 5. Let $S(n, k)$ be a Sierpinski graph then the number of the second kind of edges (extreme vertex-extreme vertex) is $\frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)$.

Proof. By Observation 3, we know that there are $k^2 - k$ edges with end points are between inner and extreme vertices. If we subtract this value from the total value of edge number $\frac{k}{2}(k^n - 1)$, then we get the desired result.

Lemma 6. Let $v \in S(n, k)$ and $k \geq 3$, then v lies on exactly $\frac{(k-1)(k-2)}{2}$ different triangles.

Proof. Any triangle of $S(n, k)$ lies in only the components of $S(n, k)$ that is complete graphs K_k . And we know that a vertex of any complete graph K_k and remaining two vertices constitute a triangle graph. Therefore let $v \in S(n, k)$ and $k \geq 3$, then v lies on exactly $\binom{k-1}{2} = \frac{(k-1)(k-2)}{2}$ different triangles.

Lemma 7. (Şahin and Ediz, 2018) Let G be a connected graph and $v \in V(G)$ then $deg_{ve} v = \sum_{u \in N(v)} deg(u) - n_v$ where n_v is the number of triangles in which contains the vertex v .

Lemma 8. Let $S(n, k)$ be a Sierpinski graph, $v \in S(n, k)$, v is an extreme vertex and $k \geq 4$, then $deg_{ve}v = \frac{(k-1)(k+2)}{2}$.

Proof. Every neighbour of an extreme vertex has the degree k . And an extreme vertex has $k - 1$ neighbours. Therefore $\sum_{u \in N(v)} deg(u) = k(k - 1)$. We know that every extreme vertex lies in exactly $\frac{(k-1)(k-2)}{2}$ different triangles. Therefore, we get that $deg_{ve}v = \sum_{u \in N(v)} deg(u) - k + 1 = k(k - 1) - \frac{(k-1)(k-2)}{2} = \frac{(k-1)(k+2)}{2}$.

Lemma 9. Let $S(n, k)$ be a Sierpinski graph, $v \in S(n, k)$, v is an inner vertex and $k \geq 4$, then $deg_{ve}v = \frac{k(k-1)}{2}$.

Proof. Every inner vertex has a neighbour of extreme vertex with degree $k - 1$ and has $k - 1$ neighbours of inner vertex with degree k . Therefore, for any inner vertex v , we can write that $\sum_{u \in N(v)} deg(u) = (k + 1)(k - 1)$. Also, we know that every inner vertex lies in exactly $\frac{(k-1)(k+2)}{2}$ triangles. Thus, we get that $deg_{ve}v = \sum_{u \in N(v)} deg(u) - k + 1 = (k + 1)(k - 1) - \frac{(k-1)(k+2)}{2} = \frac{k(k-1)}{2}$.

And now, we can start to compute vertex-edge degree based topological indices of Sierpinski networks with the help of above observations and lemmas.

Proposition 10. The first ve-degree Zagreb alpha index of the graph $S(n, k)$ is $M_1^{\alpha ve}(S(n, k)) = k \frac{(k-1)^2(k+2)^2}{4} + (k^n - k) \frac{(k-1)^2 k^2}{4}$.

Proof. The first ve-degree Zagreb alpha index of the graph $S(n, k)$ is defined as; $M_1^{\alpha ve}(S(n, k)) = \sum_{v \in V(S(n, k))} deg_{ve}v^2$. We know that $S(n, k)$ has k extreme vertices with vertex-edge degree $\frac{(k-1)(k+2)}{2}$ and $k^n - k$ inner vertices with vertex-edge degree $\frac{k(k-1)}{2}$ from the above observations and lemmas. By using these facts in the the first ve-degree Zagreb alpha index formula we get:

$$M_1^{\alpha ve}(S(n, k)) = k \frac{(k-1)^2(k+2)^2}{4} + (k^n - k) \frac{(k-1)^2 k^2}{4}$$

Proposition 11. The first ve-degree Zagreb beta index of the graph $S(n, k)$ is $M_1^{\beta ve}(S(n, k)) = k(k - 1)^2(k + 1) + \frac{k^2}{2}(k^n - 2k + 1)(k - 1)$.

Proof. The first ve-degree Zagreb beta index of $S(n, k)$ is defined as; $M_1^{\beta ve}(S(n, k)) = \sum_{uv \in E(S(n, k))} (deg_{ve}u + deg_{ve}v)$. From the Lemmas 4 and 5, we know that a Sierpinski graph has the number of the first kind of edges which consists of end points are inner vertex and extreme vertex is $k(k - 1)$. And again a Sierpinski graph has the number of the second kind of edges which consists of end points are inner vertices is $\frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)$. The vertex-edge degree of an

extreme vertex is $\frac{(k-1)(k+2)}{2}$ and the vertex-edge degree of an inner vertex is $\frac{k(k-1)}{2}$ (see Lemmas 8 and 9). By using these facts in the first ve-degree Zagreb beta index formula we get:

$$\begin{aligned} M_1^{\beta ve}(S(n, k)) &= k(k-1)\left(\frac{(k-1)(k+2)}{2} + \frac{k(k-1)}{2}\right) + \frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)k(k-1) \\ &= k(k-1)^2(k+1) + \frac{k^2}{2}(k^n - 2k + 1)(k-1). \end{aligned}$$

Proposition 12. The second ve-degree Zagreb index of the graph $S(n, k)$ is $M_2^{ve}(S(n, k)) = \frac{k^2}{4}(k-1)^3(k+2) + \frac{k^3}{8}(k-1)^2(k^n - 2k + 1)$.

Proof. The second ve-degree Zagreb index of is defines as $M_2^{ve}(S(n, k)) = \sum_{uv \in E(S(n, k))} deg_{ve} u deg_{ve} v$. From the Lemmas 4 and 5, we know that a Sierpinski graph has the number of the first kind of edges which consists of end points are inner vertex and extreme vertex is $k(k-1)$. And again a Sierpinski graph has the number of the second kind of edges which consists of end points are inner vertices is $\frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)$. The vertex-edge degree of an extreme vertex is $\frac{(k-1)(k+2)}{2}$ and the vertex-edge degree of an inner vertex is $\frac{k(k-1)}{2}$ (see Lemmas 8 and 9). By using these facts in the second ve-degree Zagreb beta index formula we get:

$$\begin{aligned} M_2^{ve}(S(n, k)) &= k(k-1)\frac{(k-1)(k+2)}{2}\frac{k(k-1)}{2} + \frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)\frac{k^2(k-1)^2}{4} \\ &= \frac{k^2}{4}(k-1)^3(k+2) + \frac{k^3}{8}(k-1)^2(k^n - 2k + 1). \end{aligned}$$

Proposition 13. The ve-degree Randic index of the graph $S(n, k)$ is

$$R^{ve}(S(n, k)) = 2k(k(k+2))^{-1/2} + \frac{2}{k-1}(k^n - 2k + 1).$$

Proof. The ve-degree Randic index of the graph $S(n, k)$ defined as $R^{ve}(S(n, k)) = \sum_{uv \in E(S(n, k))} (deg_{ve} u deg_{ve} v)^{-1/2}$. From the Lemmas 4 and 5, we know that a Sierpinski graph has the number of the first kind of edges which consists of end points are inner vertex and extreme vertex is $k(k-1)$. And again a Sierpinski graph has the number of the second kind of edges which consists of end points are inner vertices is $\frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)$. The vertex-edge degree of an extreme vertex is $\frac{(k-1)(k+2)}{2}$ and the vertex-edge degree of an inner vertex is $\frac{k(k-1)}{2}$ (see Lemmas 8 and 9). By using these facts in the ve-degree Randic index formula we get:

$$\begin{aligned} R^{ve}(S(n, k)) &= k(k-1)\left(\frac{(k-1)(k+2)}{2}\frac{k(k-1)}{2}\right)^{-1/2} + \frac{k}{2}(k^n - 2k + 1)\left(\frac{k^2(k-1)^2}{4}\right)^{-1/2} \\ &= 2k(k(k+2))^{-1/2} + \frac{2}{k-1}(k^n - 2k + 1). \end{aligned}$$

4. Conclusion

Graph theory plays an important role in modelling and studying many networks in computer science. Networks are analysed by means of topological indices frequently in recent years. The numerical results obtained from these analyses are important in terms of the characteristics of networks. These calculations are used to understand and characterize the topologies hidden under these networks. Thanks to these calculations, applications can have information about the structural properties of the networks without making expensive experiments. Classical degree-based topological properties of Sierpinski graphs have been the subject of many studies over the last three years. Vertex-edge based topological indices were defined in 2018 and the calculation of the values of vertex-edge degree based indices in network science has been very popular in recent years. In this paper, we firstly computed vertex-edge degree degree based topological properties of Sierpinski graphs. These calculations are essential to understand underlying topology of Sierpinski networks.

Acknowledgement

The author thanks the referees for their valuable comments.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

References

- Abolaban FA., Ahmad A., Asim MA. Computation of vertex-edge degree based topological descriptors for metal trihalides network. *IEEE Access* 2021; 9: 65330-65339.
- Akgüneş N., Nacaroğlu Y. On the sigma index of the corona products of monogenic semigroup graphs. *Journal of Universal Mathematics* 2019; 2(1): 68-74.
- Cancan M. On harmonic and ev-degree molecular topological properties of dox, rtox and dsl networks. *CMC-Computers Materials & Continua* 2019; 59(3): 777-786.
- Chellali M., Haynes TW., Hedetniemi, ST., Lewis TM. On ve-degrees and ev-degrees in graphs. *Discrete Mathematics* 2017; 340(2): 31-38.
- Daniele P. On some metric properties of Sierpinski graphs $S(n,k)$. *Ars Combinatoria* 2009; 90: 145-160.
- Çolakoğlu Ö. QSPR Modeling with topological indices of some potential drug candidates against COVID-19. *Journal of Mathematics* 2022; Article ID 3785932.
- Ediz S. Predicting some physicochemical properties of octane isomers: a topological approach using ev-degree and ve-degree Zagreb indices. *International Journal of Systems Science and Applied Mathematics* 2017; 2(5): 87-92.
- Ediz S. On ve-degree molecular topological properties of silicate and oxygen networks. *International Journal of Computing Science and Mathematics* 2018; 9(1): 1-12.

- Ediz S. A new tool for QSPR researches: *ev-degree Randić index*. Celal Bayar University Journal of Science 2017; 13(3): 615-618.
- Estrada E. Statistical–mechanical theory of topological indices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 2022; 602: Article ID: 127612.
- Fan C., Munir MM., Hussain Z., Athar M., Liu JB. Polynomials and general degree-based topological indices of generalized Sierpinski networks. *Complexity* 2021; Article ID: 6657298
- Fathalikhani K., Babai A., Zemljic, SS. The graovac–pisanski index of Sierpiński graphs. *Discrete Applied Mathematics* 2020; 285: 30-42.
- Havare ÖÇ. Topological indices and QSPR modeling of some novel drugs used in the cancer treatment. *International Journal of Quantum Chemistry* 2021; 121(24): Article ID: e26813.
- Hinz A., Klavžar S., Zemljic, S. Sierpiński graphs as spanning subgraphs of Hanoi graphs. *Open Mathematics* 2013; 11(6): 1153-1157.
- Hong G., Gu Z., Javaid M., Awais HM., Siddiqui MK. Degree-based topological invariants of metal-organic networks. *IEEE Access* 2020; 8: 68288-68300.
- Horoldagva B., Das KC., Selenge, TA. On *ve-degree* and *ev-degree* of graphs. *Discrete Optimization* 2019; 31: 1-7.
- Husain S., Imran M., Ahmad A., Ahmad Y., Elahi KA. Study of cellular neural networks with vertex-edge topological descriptors. *CMC- CMC-Computers Materials & Continua* 2022; 70(2): 3433-3447.
- Imran M., Gao W., Farahani, MR. On topological properties of Sierpinski networks. *Chaos, Solitons & Fractals* 2017; 98: 199-204.
- Klavzar S., Milutinovic U. Graphs $S(n, k)$ and a variant of the tower of hanoi problem. *Czechoslovak Mathematical Journal* 1997; 47(1): 95-104.
- Kirmani SAK., Ali P., Azam F., Alvi, PA. On *ve-degree* and *ev-degree* topological properties of hyaluronic acid-anticancer drug conjugates with *qspr*. *Journal of Chemistry* 2021; Article ID: 3860856.
- Liu JB., Zhao J., He H., Shao Z. Valency-based topological descriptors and structural property of the generalized sierpiński networks. *Journal of Statistical Physics* 2019; 177(6): 1131-1147.
- Liu JB., Siddiqui HMA., Nadeem MF., Binyamin MA. Some topological properties of uniform subdivision of Sierpiński graphs. *Main Group Metal Chemistry* 2021; 44(1): 218-227.
- Nacaroglu Y., Maden AD. The upper bounds for multiplicative sum Zagreb index of some graph operations. *Journal of Mathematical Inequalities* 2017; 11(3): 749-761.
- Nacaroglu Y., Maden AD. The multiplicative Zagreb coindices of graph operations. *Utilitas Mathematica* 2017; 102: 19-38.
- Refaee EA., Ahmad A. A study of hexagon star network with vertex-edge-based topological descriptors. *Complexity* 2021; Article ID: 9911308.

- Siddiqui HMA. Computation of Zagreb indices and Zagreb polynomials of Sierpinski graphs. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics 2020; 49(2): 754-765.
- Şahin B., Ediz S. On ev-degree and ve-degree topological indices. Iranian Journal of Mathematical Chemistry 2018; 9(4): 263-277.
- Şahin B., Şahin A. Ve-degree, ev-degree and first zagreb index entropies of graphs. Computer Science 2021; 6(2): 90-101.
- Zhang J., Siddiqui MK., Rauf A., Ishtiaq, M. On ve-degree and ev-degree based topological properties of single walled titanium dioxide nanotube. Journal of Cluster Science 2021; 32(4): 821-832.
- Żyliński P. Vertex-edge domination in graphs. Aequationes Mathematicae 2019; 93(4): 735-742.

Dişli Kayış Tahrikli Elektromekanik ve Pnömatik Uzun Stroklu Eyleyicilerin Maliyet Analizi İncelemesi

Elif ERZAN TOPÇU^{1*}, Mehmet İNCİ^{2a}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, 16059, Bursa

^aHid-Tek Ltd. Şti., Ar-Ge Merkezi, 16110, Bursa

¹ <https://orcid.org/0000-0002-6115-3110>

² <https://orcid.org/0000-0002-8386-6971>

*Sorumlu yazar: erzan@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.03.2022

Kabul tarihi: 09.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Pnömatik

Dişli kayış

Eyleyici

Maliyet analizi

ÖZ

Otomasyon çalışmalarında pnömatik sistemler yaygın olarak kullanılmakla birlikte günümüzde elektromekanik tahrikli sistemlerin kullanımının yaygınlaşmaya başladığı gözlemlenmektedir. Elektromekanik sistemlerin pek çok farklı çeşidi bulunmaktadır. Genellikle servo motorun kontrol edilmesi ile hareket aktarımı sağlanmakta, bilyalı vidalı mil, dişli kayış vb. sistem elemanları ile dönme hareketi doğrusal harekete çevrilmektedir. Kontrol edilebilirliklerinin kolay, konumlama hassasiyetlerinin yüksek olması, uzun yıllar boyunca bakım istemesi gibi avantajlarıyla beraber bu tip sistemlerin kullanıcı tarafından tercih edilmesindeki en büyük tereddüt ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması olarak görünmektedir. Ancak ürün seçiminde ilk yatırım maliyeti ön plana çıkarken enerji tüketimi, bakım gibi parametrelerin de değerlendirilmesinin gerekliliği genellikle ikinci planda kalmaktadır. Bu çalışmada uzun stroklu, milsiz silindri pnömatik bir sistem ile dişli kayış tahrikli elektromekanik bir sistemin ilk yatırım, bakım ve kullanım ömrü boyunca öngörülen enerji tüketim maliyetleri farklı çalışma senaryoları ile incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yatay yönde hareket eden iki sistemde de eşdeğer yük, strok, yıllık çalışma süresi ve kullanım zamanı dikkate alınarak deneysel çalışmalar ve teorik hesaplamalar yapılarak değerlendirilmiştir. Servo motorun ilk yatırım maliyetinin, pnömatik sistemin besleme basıncının, çevrim sayısının, bekleme süresinin sistemlerin maliyetlendirilmesinde önemli ve dikkate alınması gereken kriterler olduğu görülmüştür.

Cost Analysis Investigation of Toothed Belt Driven Electromechanical and Pneumatic Long Stroke Actuators

Research Article

Article History:

Received: 29.03.2022

Accepted: 09.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Pneumatic

Toothed belt drive

Actuator

Cost analysis

ABSTRACT

Although pneumatic is widely used in automation systems, it is observed that the use of electromechanical driven systems has become widespread today. There are many different types of electromechanical systems. Generally, the motion transfer is provided by controlling the servo motor, the rotational motion is converted into linear motion with the system elements used as screw ball, toothed belt driven etc. In addition to the advantages such as being easy to control, high positioning accuracy, and long-term maintenance, the biggest disadvantage in the preference of this type

of system by the user seems to be the high initial investment costs. However, while the initial investment cost comes to the fore in product selection, the necessity of evaluating parameters such as energy consumption and maintenance generally remains in the background. In this study, the evaluation of a long-stroke rodless-cylinder pneumatic system and a toothed belt-driven electromechanical system in terms of initial investment, maintenance and predicted energy consumption cost during its lifetime were examined with different operating scenarios and comparatively evaluated. Experimental and theoretical calculations were made and evaluated considering the equivalent load, stroke, and annual operating and usage time in both systems moving in the horizontal direction. It has been seen that the initial investment cost of the servo motor, the supply pressure, the number of cycles, the standby time are important and should be considered in the costing of the systems.

To Cite: Erzan Topçu E., İnci M. Dişli Kayış Tahrikli Elektromekanik ve Pnömatik Uzun Stroklu Eyleyicilerin Maliyet Analizi İncelemesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 161-179.

1. Giriş

Eyleyiciler bir enerji kaynağı tarafından tahrik edilerek çıkışlarında mekanik bir hareket elde edilmesini sağlayan elemanlardır. Eyleyiciler; motor eleman, aktüatör gibi isimlerle de anılmaktadırlar. Eyleyicilerin yapılarına göre çıkışlarında dönme veya ötelenme hareketi elde edilebilmektedir. Endüstriyel bir sistemde doğrusal hareket iletimi pnömatik, hidrolik gibi akışkan güç sistemleriyle veya elektromekanik eyleyicilerle sağlanabilir. Elektromekanik sistemlerde doğrusal hareket eldesi doğrudan lineer motorlarla veya dönme hareketini doğrusal harekete çeviren bilyalı vida-mil, kayış tahrikli, zincir tahrikli motor gibi sistemler ile sağlanabilir. Pnömatik ve hidrolik sistemlerdeyse silindirler kullanılmaktadır. Belirtilen eyleyici tiplerinin kendi içerisinde pek çok alt sınıf ve çeşitleri bulunmaktadır.

Bu sistemler robotik, otomasyon, şekil verme üniteleri, malzeme taşıma, yerleştirme, presleme, boyama, takım tezgahları, gıda, ilaç sanayi, savunma ve sağlık uygulamaları gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadırlar. Elektromekanik sistemlerin otomasyon sistemlerinde kullanılması özellikle son senelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Eyleyici seçiminde eyleyicinin kullanılacağı yerin özellikleri, kuvvet, hız, sıcaklık, vb. değerlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji tüketimi de her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla bir sistem tasarımı yaparken kullanılacak elemanların enerji tüketimlerinin de değerlendirilmesi gerekliliği oluşmaktadır. Zaim ve Aras (2020) pnömatik enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarında ülkemizde 2018 yılında 303,3 TWh elektrik tüketimi ve 303,9 TWh elektrik üretimi gerçekleştiğini ve TEİAŞ' ın 10 yıllık talep tahminleri raporuna göre 2027 yılında ülkemizdeki elektrik tüketiminin brüt 457,9 TWh olmasının beklendiğini belirtmişlerdir. Sanayinin enerji tüketimi ve yoğunluğu açısından öncelikli olduğunu ve bu alandaki enerji tüketiminin düşürülmesinin yollarının aranmasının ve karbon ayak izinin azaltılması gerekliliğine dikkat çekmişlerdir. Bu konu ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalara bakıldığında Kagawa (2002) pnömatik ve bilyalı tip vidalı elektrik tahrikli eyleyicilerin enerji tüketim özelliklerini inceleyerek, bu iki tip eyleyicinin genel bir karşılaştırmasını yapmışlardır. Bekleme zamanına göre iki sistemin enerji tüketiminin değişebileceğini ve yüksek bekleme zamanına sahip

sistemlerde pnömatiğin alternatif olarak gösterilebileceğini belirtmiştir. Hirzel ve ark. (2014), çift etkili pnömatik bir silindir ve vidalı mil tipteki bir elektromekanik eyleyicinin enerji verimliliği ve maliyetleri hakkında teorik bir çalışma yapmışlardır. Aynı yük ve çevrim içinde iki sistem için benzer hız ve ivme profilleri oluşturarak maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Bu iki tahrik teknolojisinin vaka temelli araştırma yapılması tavsiye edilmiştir. Weber ve ark. (2016) yaptıkları ekonomik analiz ile pnömatik ve bilyalı vidalı tip elektrik tahrikli eyleyicilerin seçimi için maliyet analizi yapmışlardır. Eyleyicilerin belirli yük ve hız durumlarında ilk yatırım ve işletme maliyetlerini incelemişlerdir. Boyutlandırma faktörü olarak tanımladıkları bir oran ile boyutlandırma yapmışlardır. Pnömatik eyleyicinin doğru boyutlandırılmasıyla ve daha düşük basınçlarda çalışmanın enerji maliyetinin azaltılmasında önem arz ettiğini ve elektromekanik sistemlere alternatif olmayı sürdürebileceklerini belirtmişlerdir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda daha çok vidalı mil mekanizmaları ile doğrusal hareket ettirilen servo motor tahrikli sistemlerin kullanıldığı görülmüştür. Günümüzde de bu sistemler üzerine yapılan çalışmaların sürmekte olduğu ve bu çalışmaların pnömatik ve elektromekanik sistemlerin kontrol edilmesi, modellenmesi, enerji tasarrufunun artırılması için yöntemler geliştirilmesi üzerine olduğu görülmektedir. Shi ve ark. (2019) pnömatik sistemin optimizasyonu ve enerji tasarrufu sağlayan tasarımı için bir temel oluşturmak amacıyla bu sistemin gücünü analiz etmek ve ölçmek için bir yöntem geliştirilmesini incelemişlerdir. Yu ve ark. (2021) Pnömatik sistemlerdeki atık havanın daha verimli kullanımı ve sistemin enerji verimliliğinin artırılması konusunda çalışmışlardır. Du ve ark. (2020) konuyla ilgili daha önceki çalışmalarına ilaveten geliştirdikleri by-pass ve kontrol teknikleri ile enerji verimliliğini arttırmışlardır. Wojtkowiak ve ark. (2021) çalışmalarında triger kayışlı elektromekanik eyleyici kullanan bir sistemin katalog verileri ve sistemin geometrik parametrelerine göre detaylı matematiksel modelini sunmuşlar, geliştirdikleri yöntemi sistemin verimliliğini ve güç tüketimini iyileştirmek için kullanılabilirlik şeklinde detaylandırmışlardır. Neveranta ve ark. (2015) elektromekanik dişli kayış tahrikli bir sistemin parametrelerini çevrim içi bir yöntemle tespitine yönelik çalışmışlardır. Raisch ve ark. (2019) ileribeslemeli enerji-optimal kontrol tekniği ile dişli kayış tahrikli bir elektromekanik sistemin enerji tüketiminin azaltılması üzerine çalışmışlardır.

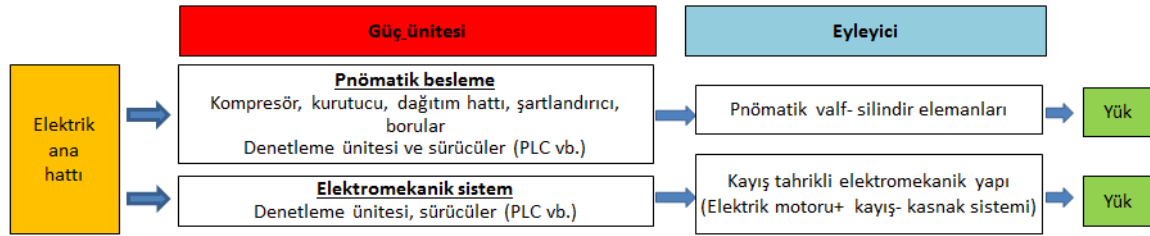
Bu çalışmada yatay hareket eden kayışlı elektromekanik bir eyleyici ile pnömatik valf- uzun stroklu milsiz silindir sisteminin karşılaştırmalı maliyet analizi yapılmıştır. Birbirine göre avantaj ve dezavantajları ilk yatırım, enerji tüketim ve bakım maliyetleri dikkate alınarak farklı çalışma koşulları altında incelenmiştir. Enerji tüketim maliyetlerinin belirlenmesi için her iki sistem üzerinde de deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan sistem bileşenleri hakkında bilgi verildikten sonra uygulanan yöntem hakkında bilgi sunulmuştur.

2.1. Pnömatik Eyleyiciler

Sıkıştırılmış hava üniteleri fabrikalarda pek çok farklı yerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Genelde basınçlı hava ünitelerinin bulunduğu bir bölümden boru hatlarıyla basınçlı havanın tesis içerisine dağılımı sağlanır. Şekil 1’de gösterildiği gibi eyleyiciye güç iletiminin sağlanması için elektrik ana hattından alınan elektrik enerjisi kompresör, kurutucu, dağıtım hattı ve şartlandırıcı ünitelerinden geçtikten sonra valf ünitesine aktarılmaktadır. Dolayısıyla bu sistemin ilk kurulum maliyeti de önemlidir. Ancak endüstriyel kuruluşlarda pek çok farklı alanda basınçlı hava ihtiyacı olduğu için basınçlı hava tesisatının fabrikalarda yer aldığı düşünülerek çalışmada bu kısma ait maliyetler inceleme dışı bırakılmıştır. Denetleme ünitesi ve sürücüler ise valfleri kontrol etmek ve varsa geri besleme ünitesinden gelen sinyalleri denetim birimine iletmek, kapalı döngü kontrolü gerçekleştirmek için kullanılırlar.



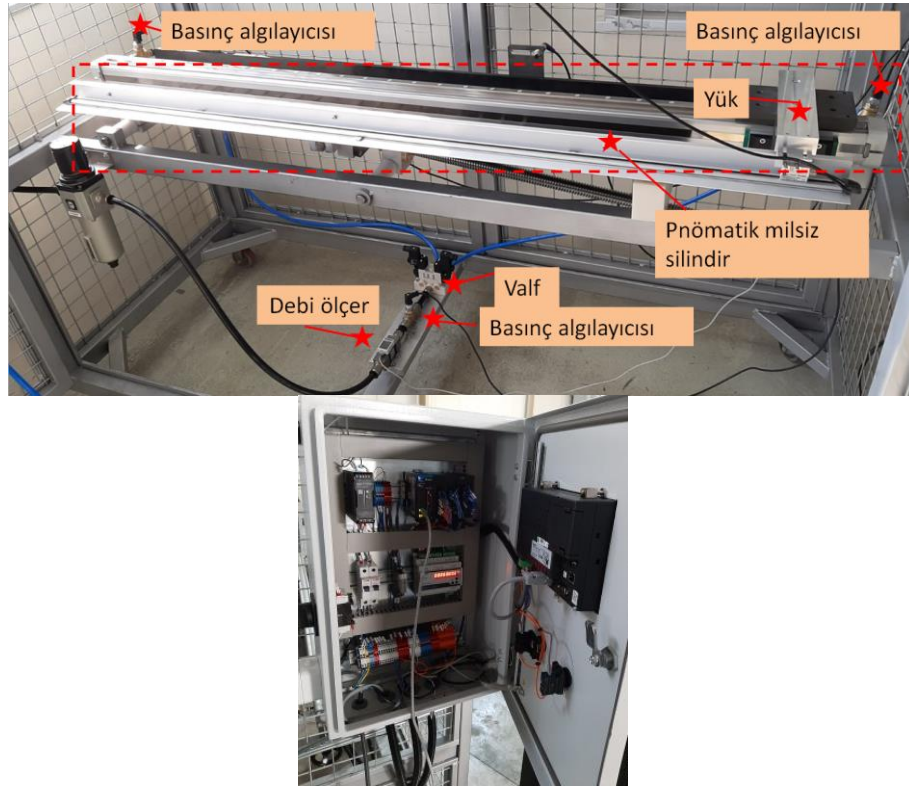
Şekil 1. Pnömatik ve elektromekanik sistemlerde enerji akışı

Bu çalışmaya konu olan kısım basınçlı hatlardan basınçlı hava ile tahrik edilen çift etkili, milsiz bir pnömatik silindirdir. Tablo 1’de sistem bileşenleri, ürün kodları ve özellikleri sunulmuştur. Şekil 2’de ölçüm yapılan sistemin yapısı ve temel elemanları gösterilmiştir.

Tablo 1. Sistemlerin bileşenleri, kullanım amaçları ve kodları

| Sistem bileşeni | Özellik ve kullanım amacı | Kodu |
|---|--|-------------------------|
| PNÖMATİK | | |
| Milsiz silindir | Piston çapı: 40 mm, strok: 1,5 m, | WRLK Ø40 – 1500 mm |
| Valf | 5/2, solenoid uyarılı | WSIV420-IP-SC2-CN2-D4 |
| Debi ölçer | Giriş debisini ölçmek | PFMB7202- F-06- F - MRA |
| Basınç algılayıcısı | Besleme ve silindirin girişlerindeki basınç değerlerini ölçmek | ADZ NAGANO SIS-100 |
| DİŞLİ KAYIŞ TAHRİKLİ ELEKTROMEKANİK SİSTEM | | |
| Elektromekanik silindir | Yükün doğrusal olarak hareket ettirmek | WMCS – TB – 065 – 1500 |
| Servo motor (Tip 1) | Elektromekanik sistemi tahrik etmek | WPL-90-L1-10 |
| Servo motor (Tip 2) | Elektromekanik sistemi tahrik etmek | MAC800-D2 |

| | | |
|--|--|---|
| Güç kaynağı | Elektromekanik sisteme güç vermek | OMRON S8VK-C06024 |
| Güç analizörü | Elektromekanik sistemin güç analizi | Delta DPM-DA510 |
| Manyetik lineer enkoder, Manyetik bant profil sistemi | Silindirlerin konumunu ölçmek | MLS110-B5-025-PP-2-5M-C PS 220 B5 1600mm |
| Veri toplama sistemi | PLC (İki sistem için de kullanılıyor.) | DELTA AS228T-A |



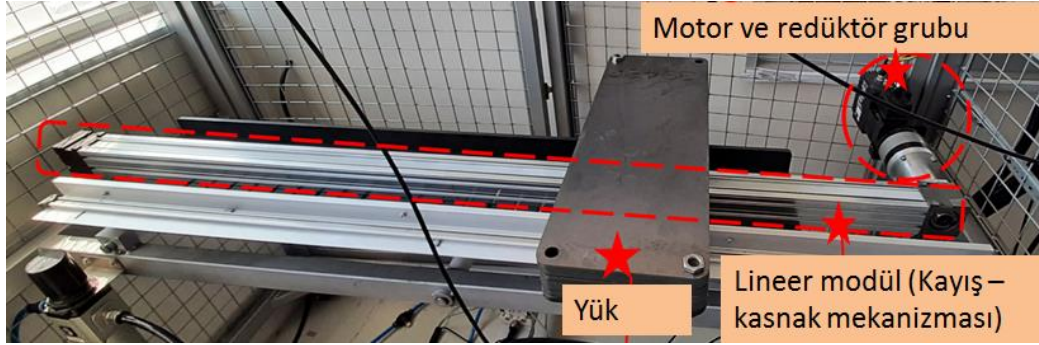
Şekil 2. Pnömatik sistem elemanları ve otomasyon birimi

2.2. Dişli Kayış Tahrikli Eyleyiciler

Kayış tahrikli eyleyicilerde tahrik elektrik motoru ile sağlanır. Şekil 1’de gösterildiği gibi bu eyleyiciler denetleme ünitesi ve sürücüler ile tahsis edilen elektrik enerjisi ile çalıştırılırlar. Kasnaklardan bir tanesine bu motor bağlanarak dönme hareketi kasnağa iletilir. Kasnaklar üzerine sarılan dişli triger kayışı aracılığıyla da dönme hareketi doğrusal harekete dönüştürülür ve kayışa özel bir düzencekle bağlı olan yükün hareketi gerçekleştirilir. Dişli triger kayış yük ve kullanım durumuna göre fiber takviyeli elastomerden veya çelik takviyeli poliüretan kayıştan imal edilir. Kayış tahriği, yük taşıma arabası raylar boyunca üstte olacak şekilde bir alüminyum gövde içine yerleştirilmiştir. Bu tip sistemler uzun stroklu çalışmalarda tercih edilmektedirler. Yük taşıma kabiliyetleri 1000 kg civarındadır. Kayış tahrikli eyleyicilerin hızları 4 ile 15 m/s ve ivmeler 10 ile 50 m/s² aralığında değişebilir. Kayış tahrikli sistemlerdeki kayışların gerilmesi bu sistemlerin en büyük dezavantajlarından biridir. Çelik takviyeli kayışa sahip sistemlerde bile çalışma koşullarına göre tekrarlanabilirliği ve hareket doğruluğunu azaltan esnemeler meydana gelmektedir. Bununla birlikte,

kayış tahriklerinin 0,001"/ft mertebesinde doğrusal doğruluk elde edebileceği belirtilmektedir (Casillo, 2019). Bu sistemlerin dikey uygulamalarda kullanılması halinde güvenlik açısından ek fren sistemi eklenmesi gerekliliği de doğmaktadır.

Çalışmada kullanılan sistem Şekil 3'te ölçüm yapılan sistemin yapısı ve temel elemanları gösterilmiştir. Kullanılan sistem pnömatik sistemdeki ile eş değer yük taşıma kapasitesi ve strok dikkate alınarak seçilmiştir. Servo motorun kendi sürücüsü kullanılmıştır. Redüktör grubunun çevrim oranı $k=10$ 'dur. Tablo 1'de deneylerde kullanılan elektromekanik sistem elemanları sunulmuştur.



Şekil 3. Dişli kayış tahrikli elektromekanik sistem ve elemanları

2.3 Sistemlerin toplam maliyetlerinin karşılaştırılması

Çalışmada aynı işi yapmak üzere tasarlanmış ve birbirinin yerine kullanılacak ürünler karşılaştırılmıştır. Konumlama hassasiyeti, oluşabilecek sızıntı ve kayışlardaki kayma gibi durumlar değerlendirilmemiştir. Taşınan yüklerin aynı olduğu ve dolayısıyla çıkış gücündeki taleplerin aynı olduğu durum incelenmiştir. Sürüş tekniği olarak her iki sistem de PLC kumandalı bir yapı ile sürülmüştür.

Ürünlerin kullanım ömürleri boyunca olan toplam maliyeti;

$$\text{Toplam maliyet} = \text{İlk yatırım maliyeti} + \text{Enerji tüketim maliyeti} + \text{Bakım maliyeti} \quad (1)$$

denklemini ile tanımlanabilir. Tablo 2'de çalışmada kullanılan pnömatik ve kayış tahrikli sistem ekipmanlarının satın alma ve bakım maliyetleri sunulmuştur. Her iki sistemin kullanım ömrü 10 yıl olarak değerlendirilmiştir. Pnömatik silindirin içindeki keçelerin, iç-dış bantların ve pistonların her iki yılda bir değiştirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden bakım kiti elemanlarının kullanım ömrü 2 yıl olarak alınmıştır. Bu durum pnömatik silindirin bakımı için iki yılda bir 124,5 € ya karşılık gelen ek maliyete sahip olması anlamına gelmektedir. Elektromekanik sistemin öngörülen 10 yıllık kullanım ömrü boyunca bakım gerektirmediği Tablo 2' den görülmektedir. Kayışlar ilgili ömür çalışma şartlarına ve dikkate göre isteğe bağlı değiştirilebilir. Ancak stabil şartlar altında kullanım ömrü boyunca çalışması istenmektedir. Elektrik motoru ve sürücü maliyeti de motor tipi ve markasına göre değişkenlik göstermektedir. Çalışmada iki farklı ilk yatırım maliyetine sahip servo motor-sürücü sistemi Tip 1, Tip 2 ifadesi ile adlandırılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 2. Pnömatik ve dişli kayış tahrikli sistemin ekipman ve bakım maliyetleri

Pnömatik Sistem

Ekipman maliyeti

| | |
|--|--------|
| Milsiz silindir ($\phi 40$, L=1,5 m) | 835 € |
| Valf (4V220-08) | 35 € |
| Rekor bağlantı elemanları | 5,95 € |
| Hortum (2 m) | 5,5 € |

İLK YATIRIM MALİYETİ 881,45 €

Bakım kiti maliyeti

| | |
|--------------|------------------|
| Tamir kiti | 90 €/adet |
| Dış bant | 5*1,5=7,5 €/adet |
| İç bant | 18*1,5=27 €/adet |
| Bakım süresi | 2 yıl/bakım |

Dişli kayış tahrikli elektromekanik sistem

Ekipman maliyeti

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Kayış (işçilik ve iskonto dahil) | 16,5 € |
| Ray-araba (İskonto dahil) | 26 € |
| Lineer modül (WMCS-65, L:1500 mm) | 370 € |
| Kaplin, kampana | 100 € |
| Elektrik motoru ve sürücüsü (Tip 1) | 1343 € |
| Elektrik motor ve sürücü (Tip 2) | 4050 € |

İLK YATIRIM MALİYETİ (TİP 1 MOTOR İÇİN) 1813 €

İLK YATIRIM MALİYETİ (TİP 2 MOTOR İÇİN) 4520 €

Bakım maliyeti

| | |
|----------------|-----|
| Bakım maliyeti | Yok |
|----------------|-----|

Pnömatik sistemin yıllık hava tüketim maliyeti hava tüketim miktarı dikkate alınarak aşağıdaki adımlar kullanılarak hesaplanabilir. Pnömatik simetrik bir silindirin yıllık hava tüketim miktarı;

$$HTM = \left(\frac{P_{bes} + P_{atm}}{P_{atm}} \right) \cdot \left(2 \frac{\pi D^2}{4} L \right) \cdot (n \cdot YÇG \cdot GÇS \cdot 60) \quad (2)$$

Sızıntı ve kaçaklar çalışmadaki hava tüketim miktarına dahil edilmemiştir. Yıllık enerji tüketim miktarı;

$$Yıllık \text{ enerji tüketimi} = HTM \cdot HÜE \quad (3)$$

Birim hacim başına hava üretim enerjisi (HÜE) 0,12 kWh/m³, elektrik enerjisi maliyeti 0,10-0,18 €/kWh aralığında değiştiği görülmüştür (Hirzel ve ark., 2014; T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2022). Çalışmada yapılan hesaplarda bu maliyet 0,16 €/kWh olarak alınmıştır. Buna göre yıllık enerji maliyeti;

$$Yıllık \text{ enerji maliyeti} = Yıllık \text{ enerji tüketimi} \cdot \text{Elektrik enerjisi maliyeti} \quad (4)$$

denklemleriyle hesaplanabilir.

Dişli kayış tahrikli elektromekanik sistemin yıllık enerji maliyetini belirlemek için sistemin tükettiği enerji; yükün hareket profiline (sabit ivmeli hızlanma, sabit hızla hareket ve sabit ivmeli yavaşlama davranışı) ve yük durumunun dikkate alınmasıyla toplam çevrim zamanındaki enerji tüketiminin hesaplanmasıyla tespit edilebilir. Otomasyon sistemlerinde yükün dinamik davranış profili çevrim sayısına ve hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Sistemlerin enerji giderlerinin uygun şekilde karşılaştırılabilmesi için eşdeğer yük ve çevrim zamanının sağlanacağı şekilde elektromekanik sistemde düzenleme yapılmıştır.

Sürücü kasnaktaki moment yük, sürtünme ve eylemsizlik momentlerini dikkate alarak Newton' un II. hareket yasasından hareketle;

$$M_{k1} = m \cdot a \cdot p + \mu \cdot m \cdot g \cdot p + T_{ks} + (J_{k1} + J_{k2}) \cdot \alpha \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. Motor momenti sürücü kasnaktaki momentin, çevrim oranının ve eylemsizlik momentinin dikkate alınmasıyla Newton' un II. hareket yasasından hareketle;

$$M_m = M_{k1}/k + J_m \cdot (\alpha \cdot k) \quad (6)$$

olarak elde edilir. Motordaki çıkış gücü ve enerji;

$$P_m = T_m \cdot \omega_m \quad E_m = \int P_m dt \quad (7)$$

denklemleriyle ifade edilir. Buna göre dişli kayış tahrikli sistemin çevrimi için verim;

$$\eta = \frac{\int P_{mek} dt}{\int P_{elk} dt} = \frac{E_{mek}}{E_{elk}} = \frac{E_{ileri} + E_{geri}}{E_{elk}} = \frac{2 \cdot (E_{hızlanma} + E_{sabit hız} + E_{yavaşlama})}{E_{elk}} \quad (8)$$

denklemini ile hesaplanabilir. Buradan hareketle sistemin yıllık enerji maliyeti Denklem (4) ile hesaplanır.

2.4. Deneysel çalışma ve sonuçları

Çalışmanın ilk kısmında pnömatik sistemin hava tüketiminin teorik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Pnömatik sistemdeki hava tüketimi enerji maliyetini doğrudan etkilediği için ilk önce bu değer doğrulaması ile ilgili karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te Şekil 2' de gösterilen deney tesisatı üzerinde farklı yük, basınç ve çevrim sayısı değerlerinde yapılan deneylerden elde edilen basınç ve debi ölçüm sonuçları, teorik sonuçlar ve iki sonuç arasındaki hata yüzdesi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Teorik ve deneysel sonuçlara göre elde edilen sonuçların hata yüzdesi ortalama olarak %3,1 olarak hesaplanmıştır.

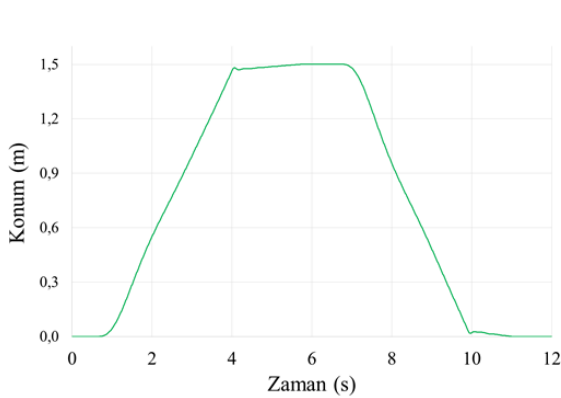
Tablo 3. Pnömatik sistemdeki hava tüketiminin teorik ve ölçüm değerlerinin karşılaştırması

| Besleme Basıncı (bar) | Yük(kg) | Çevrim sayısı (çevrim/dak) | Debi ölçerden okunan tüketim (lt/saat) | Teorik tüketim (lt/saat) | Hata yüzdesi (%) |
|-----------------------|---------|----------------------------|--|--------------------------|------------------|
| 6,0 | 53 | 5,7 | 9402 | 8926 | 5,1% |
| 6,0 | 73 | 2,4 | 3806 | 3758 | 1,3% |
| 6,0 | 3 | 3,5 | 5645 | 5481 | 2,9% |
| 6,0 | 73 | 5,7 | 9244 | 8926 | 3,4% |
| 6,0 | 33 | 11,8 | 18723 | 18478 | 1,3% |
| 6,0 | 3 | 15,3 | 24346 | 23959 | 1,6% |
| 6,0 | 13 | 15,4 | 24482 | 24116 | 1,5% |
| 6,0 | 13 | 16,0 | 25584 | 25055 | 2,1% |
| 6,0 | 3 | 17,9 | 28676 | 28030 | 2,3% |
| 6,0 | 0 | 30,0 | 48170 | 46978 | 2,5% |
| 4,0 | 0 | 29,3 | 33623 | 32797 | 2,5% |
| 4,0 | 73 | 4,1 | 4963 | 4589 | 7,5% |
| 4,0 | 53 | 4,2 | 5003 | 4701 | 6,0% |
| 4,0 | 73 | 5,6 | 6588 | 6268 | 4,9% |
| 4,0 | 33 | 14,0 | 16101 | 15671 | 2,7% |

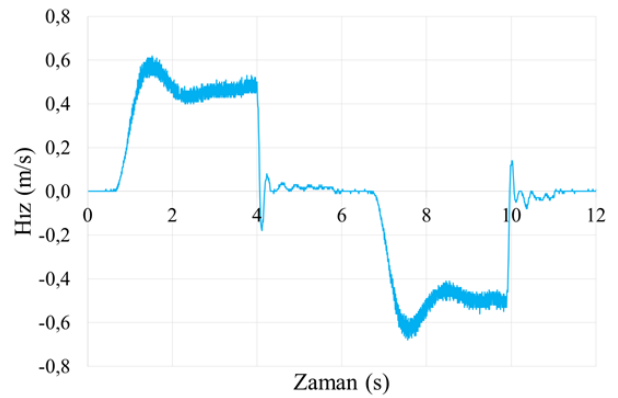
| | | | | | |
|-----|----|------|-------|-------|------|
| 4,0 | 3 | 15,4 | 17795 | 17238 | 3,1% |
| 4,0 | 13 | 15,6 | 18002 | 17462 | 3,0% |
| 2,0 | 3 | 13,3 | 9289 | 8948 | 3,7% |
| 2,0 | 73 | 5,2 | 3614 | 3498 | 3,2% |
| 2,0 | 33 | 12,2 | 8402 | 8208 | 2,3% |
| 2,0 | 13 | 13,2 | 9091 | 8881 | 2,3% |

İkinci aşamada aynı işi yapmak üzere birbirine muadil olabilecek yatay doğrultuda yük taşıyıcı iki sistemin farklı çalışma şartları altındaki maliyetlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Hareket ettirilen yük 73 kg'dır. Pnömatik sistemde bekleme sırasında ek bir enerji talebi bulunmamaktadır. PLC ünitesini çalıştırmak için 8 W, motor sürücüleri için 8 W güç gerektiği enerji analizörü yardımıyla ölçülmüştür. PLC ünitesinin güç tüketimi iki sistem için de ortak olduğundan bu tüketim hesaba katılmamıştır. İki sistemin de yılda 300 gün ve günde 24 saat çalıştığı varsayılarak inceleme yapılmıştır.

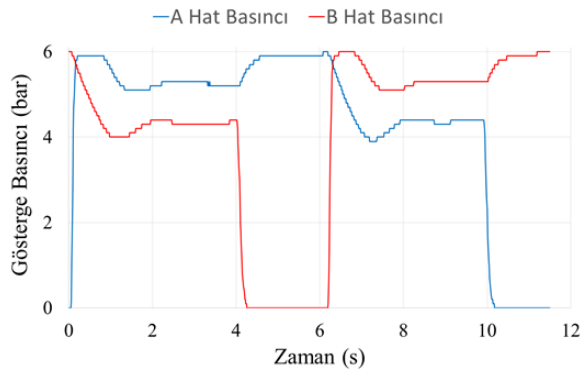
Senaryo 1: Pnömatik sistem için yastıklamanın sonuna kadar geçen sürenin alındığı hal incelenmiştir. İleri ve geri hareket için çevrim zamanı 10,92 s'dir. Belirtilen çalışma senaryosu ile pnömatik sistemin 6 bar besleme basıncı ile çalıştırılmasıyla pistonun ileri ve geri hareketi sırasında elde edilen deneysel konum, hız, basınç ve debi değişimi grafiği sırasıyla Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d'de gösterilmiştir. Bu grafikler yardımıyla doğrulama ve enerji tüketimi hesaplamaları yapılmıştır. Belirtilen senaryodaki çalışma sırasında silindir üzerindeki net basınç farkı değerinin yaklaşık 1 bar olduğu, debinin de hız ile benzer değişim gösterdiği ve ortalama 240 lt/dak olduğu görülmüştür.



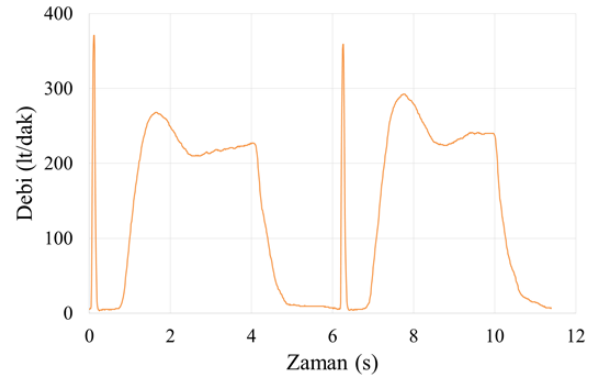
a) Pnömatik milsiz silindir konum değişimi



b) Pnömatik milsiz silindir hız değişimi



c) Pnömatik piston odalarındaki basınç değişimi

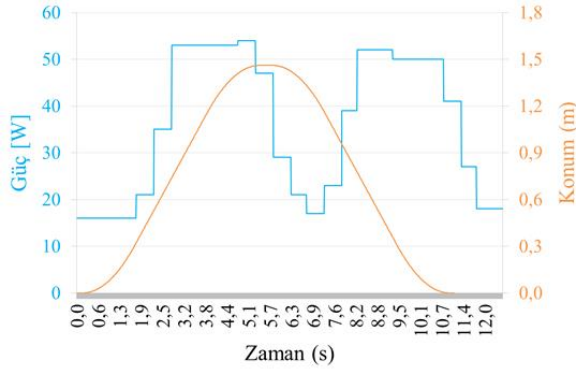


d) Pnömatik giriş debisi değişimi

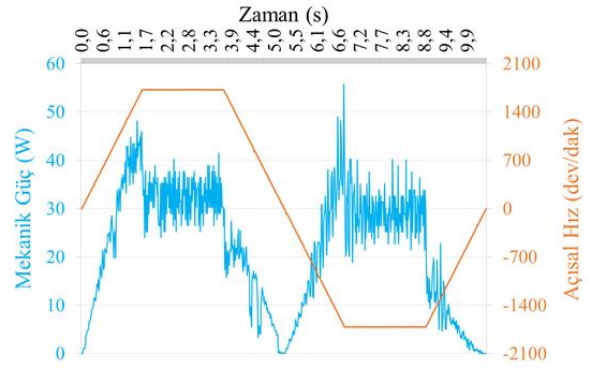
Şekil 4. Pnömatik sisteme ait grafik konum, hız, basınç, debi grafiği

Pistonun elektromekanik sistem için mevcut arayüz üzerinden belirlenen hareketi gerçekleştirmek için istenen konum, hız ve ivmelenme değerleri girilmekte ve sistem hareket ettirilmektedir. Bu senaryoda sistemin hızlanma ve yavaşlama zamanı eşit olup 1,55 s., motor devri 1720 dev/dak olarak girilmiştir. PLC ünitesine bağlı olan güç analizöründen sistem hareket ederken tüketilen güç değeri, kinematik değişkenlerin verileri toplanabilmektedir. Aynı deney tekrarlanarak hareket esnasındaki tork ve motor devir sayısı bilgileri de temin edilmiştir. Bu iki ölçüm için veri alınan kısım bekleme zamanı ile ilgili bir komut girişine izin vermediği için bu zamandaki tork ve motor devir sayısı bilgisi alınmamaktadır. Bekleme sırasında motorun devir sayısı sıfır olacağı için mekanik güç de sıfır olacaktır. PLC ünitesinden güç analizöründen yapılan ölçümlerde elektrik gücü tüketimi ile ilgili bilgiler alınabildiği için bu durum bir sorun teşkil etmemektedir.

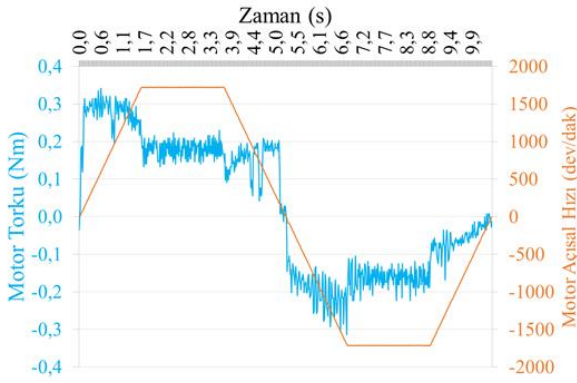
Senaryo 1 için dişli kayış tahrikli elektromekanik sistemin çalıştırılmasıyla elde edilen elektrikli, mekanik güç değişimi, açısal hız-tork ve konum değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5a, 5b, 5c ve 5d'de sunulmuştur. Bu senaryoda ileri ve geri harekette yaklaşık 55 W elektriksel güç çekildiği görülmüştür. Hızlanma sırasında elektrik motorunun tork değeri artarken sabit hızla hareket sırasında bu değer azalmaktadır. Hızlanma sırasında tork değeri 0,3 Nm'ye kadar çıkarken sabit hızla hareket esnasında bu değer 0,2 Nm'ye düşmüştür. Bu senaryoya göre bir çevrimde tüketilen elektrik enerjisi sürücü devrenin harcadığı enerji ile birlikte 326 J'dür. İş için harcanan elektrik enerjisi 236 J'dür.



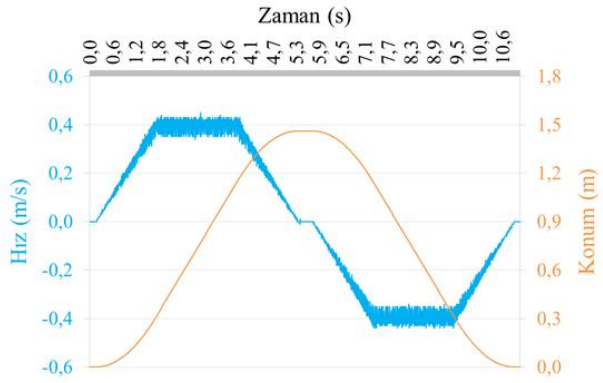
a) Elektriksel güç değişimi



b) Mekanik güç değişimi

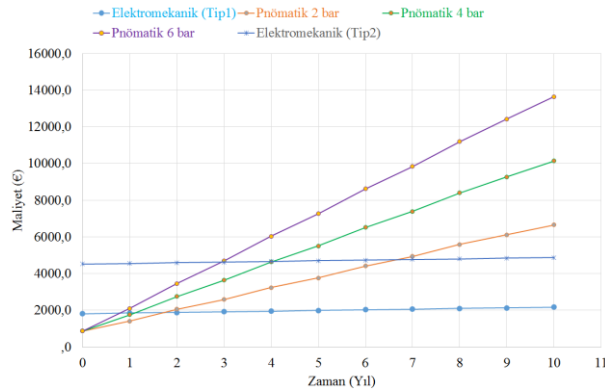


c) Motor açısal hız – tork grafiği



d) Yükün hız ve konum grafiği

Şekil 5. Senaryo 1 için dişli kayış tahrikli sisteme ait grafikler

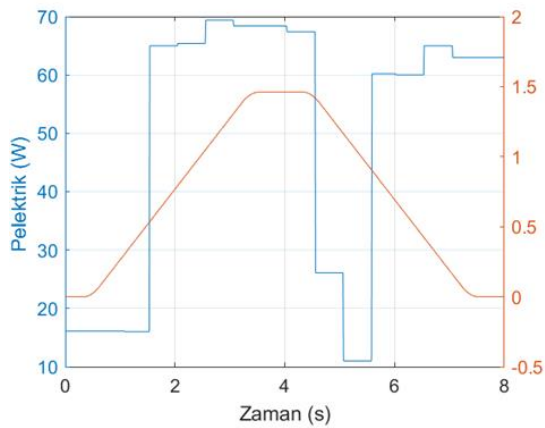


Şekil 6. Senaryo 1 için yıl-maliyet tablosu

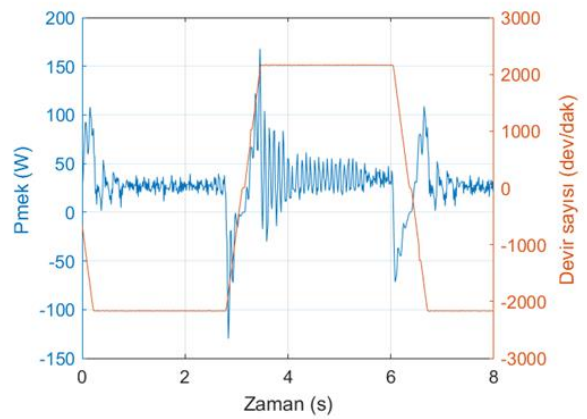
Şekil 6’da pnömatik ve elektromekanik sistemin maliyet grafiği gösterilmiştir. Sonuçlar Kısım 2.3’deki hesaplama yöntemleri dikkate alınarak elde edilmiştir. Maliyet hesabında çalışma basıncının etkisinin de incelenmesi için pnömatik sistemin maliyet hesabı incelemesine 2 bar ve 4 bar besleme basıncı değerleri de ilave edilmiştir. Dişli kayış tahrikli sistemde de Tip1 ve Tip2 olarak belirtilen iki farklı servo motorla sürülen sistemin maliyetleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu tablodaki maliyetlere ilk yatırım, enerji tüketimi ve bakım maliyetleri dahil edilmiştir. Elektromekanik sistem

için verilen senaryoda en önemli maliyetin ilk yatırım maliyeti olduğu ve servo motor maliyetinin bu değeri önemli oranda etkilediği görülmüştür. Bu sistemin bakım maliyeti olmadığı için sisteme ek bir maliyet getirmemiştir ve enerji tüketim maliyeti yıllık 35,5 Euro olarak hesaplanmıştır. Pnömatik sistemin ilk yatırım maliyeti düşük olmasına rağmen enerji tüketiminin yüksek olduğu ve besleme basıncının değerinin de bu tüketimde etkili olduğu görülmüştür. Tip 1 motor kullanılan elektromekanik sistemde 6 bar basıncında yaklaşık 9 ayda, 4 bar besleme basıncında 1 senede, 2 bar basıncında 2 yıldan sonra maliyetler başa baş olmakta ve bu değerlerden sonra elektromekanik sistem avantajlı hale gelmektedir. Tip 2 motor kullanılan sistemin maliyetleri 6 bar besleme basıncında çalışan pnömatik sistemle karşılaştırıldığında başabaş maliyeti 3 yıl, 4 bar ile çalışması halinde 4 yıl, 2 barda çalışması halinde 7 yıl olduğu görülmüştür.

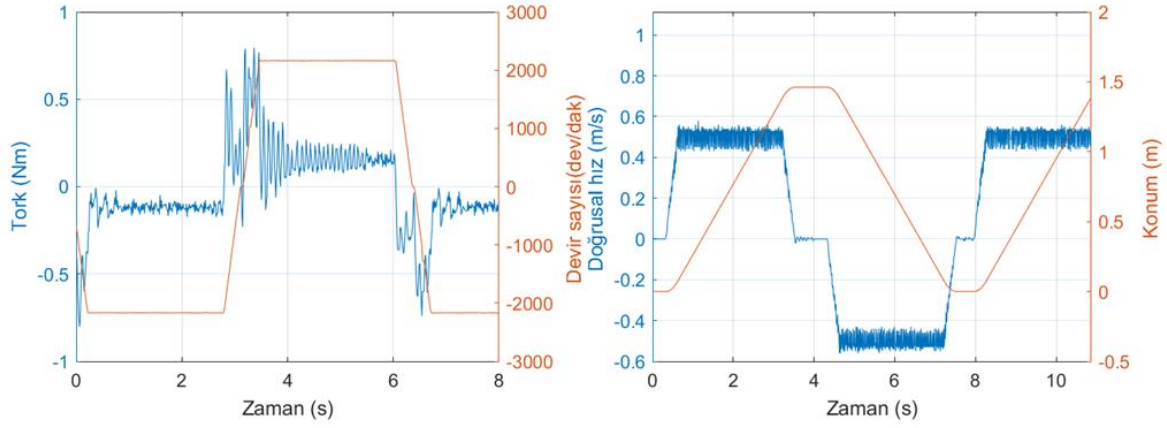
Senaryo 2: Bu senaryoda hareketin başlangıcından pnömatik silindirin yastıklamaya girene kadar geçen zaman çevrim zamanı olarak alınmıştır. Buna göre ileri ve geri hareket için çevrim zamanı 6,5 s bekleme süresiyle 0,8 saniye olarak alınmıştır. Yıllık çalışma zamanı “Senaryo 1” ile aynı alınmıştır. Dişli kayış tahrikli sistemde ise sistemin hızlanma ve yavaşlama zamanı eşit olup 0,3 s, motor devri 2165 dev/dak olarak girilmiştir. Deneyler “Senaryo 1” deki duruma benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Senaryo 2 için dişli kayış tahrikli elektromekanik sistemin çalıştırılmasıyla elde edilen elektrik, mekanik güç değişimi, açısal hız-tork ve konum değişim grafikleri sırasıyla Şekil 7a, 7b, 7c ve 7d’de sunulmuştur. Bu senaryoda ileri ve geri harekette yaklaşık 65-68 W elektriksel güç çekildiği görülmüştür. Hızlanma sırasında elektrik motorunun tork değeri artarken sabit hızla hareket sırasında bu değer azalmaktadır. Hızlanma sırasında tork değeri 0,5 Nm’ye kadar çıkarken sabit hızla hareket esnasında bu değer 0,15-0,2 Nm’ye kadar azalmıştır. Bu senaryoda sürücülerin tükettiği elektrik enerjisi dahil edilerek çevrim başına tüketilen elektrik enerjisi 345 J olarak bulunmuştur. Sadece iş için harcanan elektrik enerjisi 270 J’dür. Enerji tüketim maliyeti yıllık 60,63 Euro olarak hesaplanmıştır.



a) Elektriksel güç değişimi

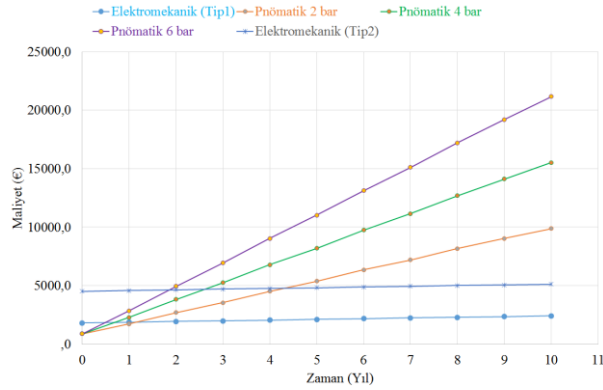


b) Mekanik güç değişimi



c) Tork- devir sayısı değişimi d) Yük hızı ve konum değişimi
Şekil 7. Senaryo 2 için dişli kayış tahrikli sisteme ait grafikler

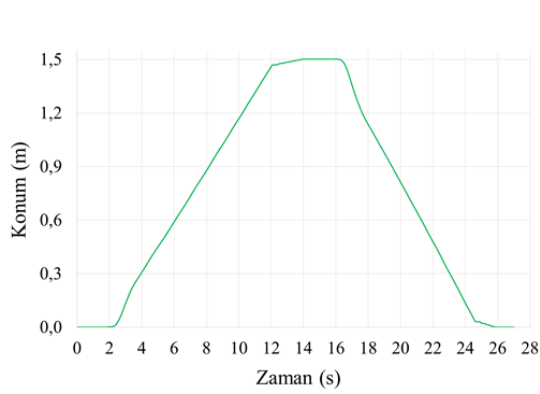
Şekil 8'deki yıl-maliyet tablosundan görülebileceği gibi pnömatik sistemin yıllık enerji maliyeti belirtilen senaryo için yine yüksek çıkmıştır. Tip 1 motor kullanılan elektromekanik sistemin pnömatik sistemle başa baş maliyeti ilk yıl içinde incelenen tüm basınç değerlerinde tamamlanmakta ve bir seneden sonra elektromekanik sistem maliyet açısından avantajlı hale gelmektedir. Tip 2 motor kullanılan sistemin maliyetleri 6 bar besleme basıncında çalışan pnömatik sistemle karşılaştırıldığında başabaş maliyeti 2 yıl, 4 bar ile çalışması halinde 2,5 yıl ve 2 barda çalışması halinde yaklaşık 4,5 yıl olduğu görülmüştür.



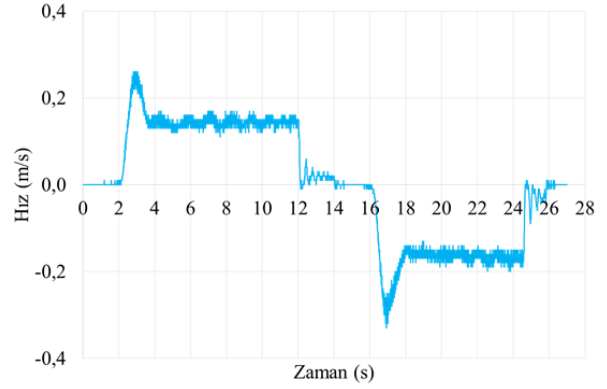
Şekil 8. Senaryo 2 için yıl-maliyet tablosu

Senaryo 3: Bu senaryoda ilk iki senaryoya göre daha düşük bir hızla yükün hareket etmesi halinde elde edilecek sonuçlar incelenmiştir. Buna göre ileri ve geri hareket için çevrim zamanı 25 s toplam bekleme süresi 1,3 s olarak alınmıştır. Şekil 9a, 9b,9c ve 9d'de bu senaryo için pnömatik milsiz silindir pistonunun konum, hız, A ve B odalarındaki basınç ve debi değişimi eğrileri gösterilmiştir. Silindirin iki odası arasındaki basınç farkı yaklaşık olarak aynı kalmakla beraber, hareket yavaşladığı için debi de azalmıştır. Yıllık çalışma zamanı ve deneylerin yapılış şekli “Senaryo 1-2” ile aynıdır. Dişli kayış tahrikli sistemde ise sistemin hızlanma ve yavaşlama zamanı eşit olup 0,2 s, motor devri 554 dev/dak olarak girilmiştir. Şekil 10'da Senaryo 3 için dişli kayış tahrikli sisteme ait güç, tork ve

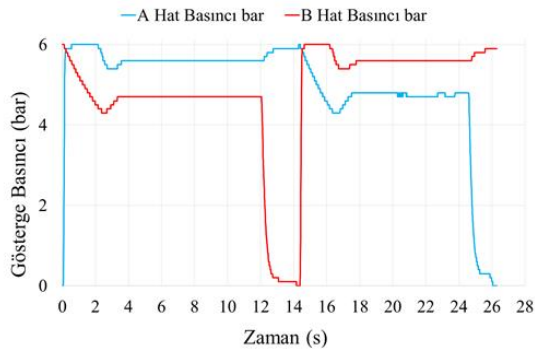
hız grafikleri sunulmuştur. Bu senaryoda yaklaşık ilerleme hızı 0,13 m/s'dir. 25 W elektrik gücü tüketimi olduğu görülmüştür. Ancak ileri ve geri harekette mekanik güç değerleri birbirinden farklı çıkmıştır. Sabit devirde çalışırken sürtünme etkisinin bu durumu oluşturduğu düşünülmektedir. Bu senaryoda servo motor sürücüsünün tükettiği elektrik enerjisi dahil edilerek çevrim başına tüketilen elektrik enerjisi 409 J olarak bulunmuştur. Sadece iş için harcanan elektrik enerjisi 208 J dır. Enerji tüketim maliyeti yıllık 20 Euro olarak hesaplanmıştır.



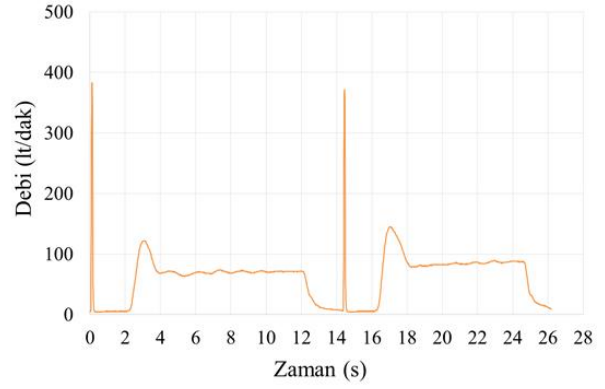
a) Pnömatik milsiz silindir konum değişimi



b) Pnömatik milsiz silindir hız değişimi

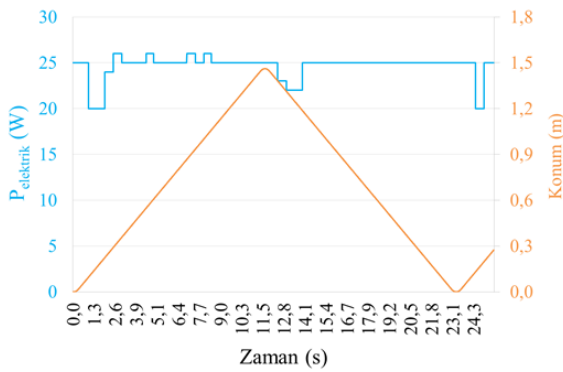


c) Pnömatik piston odalarındaki basınç değişimi

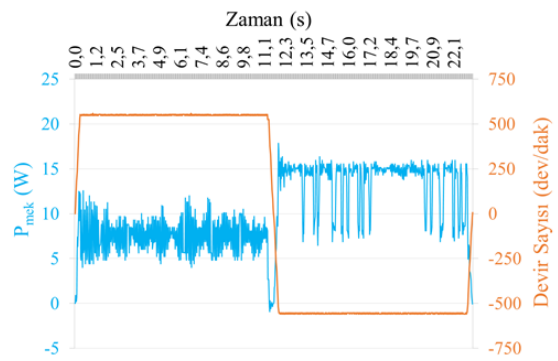


d) Pnömatik giriş debisi değişimi

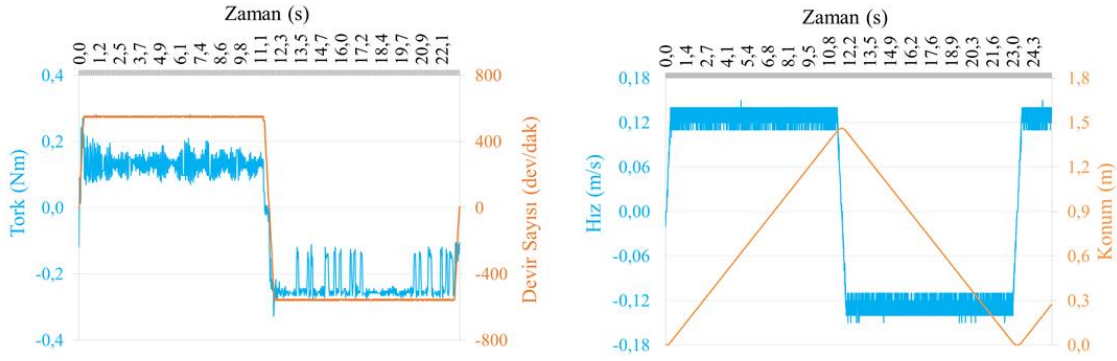
Şekil 9. Pnömatik sisteme ait grafik hız, konum, basınç ve debi grafiği



a) Elektriksel güç değişimi



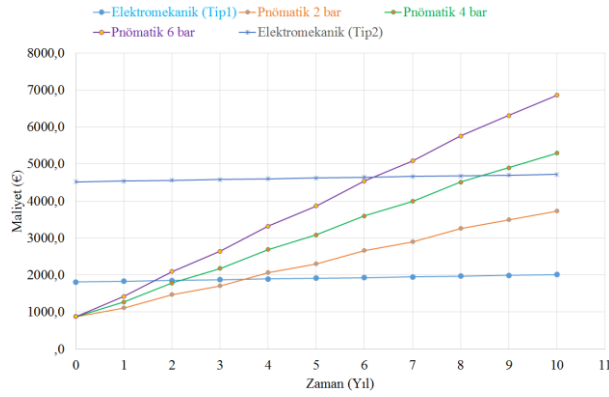
b) Mekanik güç değişimi



c) Tork- devir sayısı değişimi

d) Yük hızı ve konum değişimi

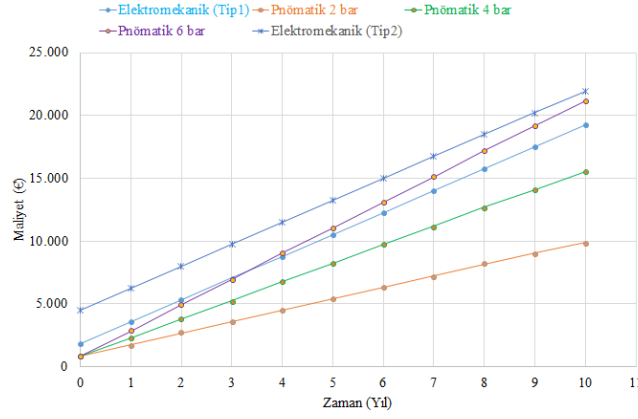
Şekil 10. Senaryo 3 için dişli kayış tahrikli sisteme ait grafikler



Şekil 11. Senaryo 3 için yıl-maliyet tablosu

Şekil 11’de görüleceği üzere pnömatik sistemin yıllık enerji maliyeti 4 bar ve 6 bar besleme basıncı değerleri için bu senaryoda da yüksek çıkmıştır. Ancak hareketin yavaşlamasıyla beraber başabaş maliyet değerlerinin sağlanacağı sürenin arttığı görülmüştür. Tip 1 motor kullanılan elektromekanik sistemin sistemin maliyetleri 6 bar besleme basıncında çalışan pnömatik sistemle karşılaştırıldığında başabaş maliyeti yaklaşık 1,5 yıl, 4 bar ile çalışması halinde 2 yıl ve 2 barda çalışması halinde yaklaşık 3,5 yıl olduğu görülmüştür. Tip 2 motor kullanılan sistemin maliyetleri 6 bar besleme basıncında çalışan pnömatik sistemle karşılaştırıldığında başabaş maliyeti yaklaşık 6 yıl, 4 bar ile çalışması halinde 8,5 yıldır. Besleme basıncının 2 bar olması halinde pnömatik sistemin on yıllık toplam maliyeti Tip 2 motorla çalıştırılan sisteme göre yaklaşık 990 Euro daha düşük kalmaktadır.

İki numaralı senaryodaki sistemin çevrim sayısı ve enerji tüketimi diğer senaryolara göre daha yüksektir. Sistemin enerji tüketiminde yüksek bekleme zamanının etkisini incelemek için bu senaryodaki bekleme süresi toplam 20 dak olarak seçilmiştir. Bu değer pnömatik sistemin 6 bar çalışma basıncındaki maliyeti yaklaşık olarak karşılayacak şekilde değerlendirilerek belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bekleme sırasında elektromekanik sistem 8 W güç çektiği için bu sürede 9600 J enerji tüketilmektedir. Pnömatik sistemde kullanılan valf yapısı gereği bekleme sırasında ek bir enerji tüketimine ihtiyacı yoktur. Şekil 12’de elde edilen yıl-maliyet tablosu sunulmuştur. Görüldüğü üzere yüksek bekleme zamanlarına sahip çalışma şartlarında pnömatik sistem kullanımı maliyet açısından daha avantajlı hale gelebilmektedir.



Şekil 12. Senaryo 2 için bekleme zamanının etkisine ait yıl-maliyet tablosu

Sonuçlar

Bu çalışmada otomasyon sistemlerinde kullanılan uzun stroklu milsiz silindirli bir pnömatik sistemin, dişli kayış tahrikli elektromekanik bir sistemle ilk yatırım, bakım ve kullanım ömrü boyunca öngörülen enerji tüketimi maliyeti açısından değerlendirilmesi farklı çalışma senaryoları ile incelenmiştir. Yatay yönde eşit strokta hareket eden bu iki sistemin 73 kg yük altında, eşdeğer yıllık çalışma ve kullanım zamanına göre değerlendirmesi yapılmıştır. Pnömatik ve elektromekanik sistemin hesaplarda kullanılacak değişkenleri deneysel yöntemlerle de ölçülerek doğrulanmış ve hesaplamalarda kullanımının uygunluğu teyit edilmiştir. Sızıntı gibi sistemden istemsiz kaçan havanın değişimi inceleme dışında bırakılmıştır.

Senaryolar farklı çevrim sayılar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Elektromekanik sistemde maliyet açısından farklı iki motor kullanımı, pnömatik sistem için de uzun stroklu milsiz silindirin farklı besleme basınçlarıyla tahrik edildiği durumlar da her bir senaryoda değerlendirilmiştir. Buna göre her iki sistem için de çevrim sayısının artmasıyla ve ayrıca pnömatik sistemde besleme basıncının yükselişiyle enerji tüketim maliyeti artmıştır. İlk yatırım maliyeti pnömatik sistemde daha düşüktür. Elektromekanik sistemlerde ise özellikle sistemi tahrik eden servo motorun fiyatı ilk yatırım maliyetini önemli oranda etkilemektedir. Çevrim hızının yüksek olduğu durumlarda pnömatik sistemle dişli kayış tahrikli elektromekanik sistemin başabaş noktası daha kısa sürede gerçekleşirken, çevrim hızı azaldıkça başabaş değerinin gerçekleştiği yılın arttığı görülmüştür. Dolayısıyla sistemin kullanılma şekli de eyleyici sistemin seçiminde enerji tüketimi açısından önem arz etmektedir. Bekleme zamanının yüksek olduğu durumlarda pnömatik sistemin daha avantajlı hale gelmesi mümkün görünmektedir.

Dişli kayış tahrikli elektromekanik bir sistem ile uzun stroklu milsiz bir pnömatik silindirin birbirine muadil olarak kullanılma durumlarını maliyet analizi ile karşılaştırmalı olarak incelediğimiz bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında sistemlerin verimliliğinin artırılması ve optimum ürün tasarımı ile ilgili çalışmaların devam ettirilmesi planlanmaktadır.

Semboller

a: İvme (m/s^2)

D: Milsiz silindir çapı (m)

g: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

k: Redüktör çevrim oranı (-)

J_{k1}, J_{k2}, J_m : Süren kasnağı, sürülen kasnağın ve motorun eylemsizliği ($kg \cdot m^2$)

L: Strok (m)

m: Hareket eden toplam kütle (kg)

n: Çevrim sayısı (1/dak)

p: Dişli kayış bir devirdeki ilerleme miktarı (m/dev)

P_{mek}, P_{elk} : Mekanik ve elektriksel güç (W)

P_{bes} : Besleme basıncı (efektif) (bar)

P_{atm} : Atmosfer basıncı (bar)

HTM: Yıllık hava tüketim miktarı ($m^3/yıl$)

YÇG: Yıllık çalışma gün sayısı (gün/yıl)

GÇS: Günlük çalışma saati (saat/gün)

HÜE: Basıncılı hava üretim enerjisi (kWh/m^3)

μ : Sürtünme katsayısı (-)

α : Açısal ivme (rad/s^2)

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Du H., Hu C., Xiong W., Jiang Z., Wang L. Energy optimization of pneumatic actuating systems using expansion energy and exhaust recycling. *Journal of Cleaner Production*, 2020; 254: 119983.
- Hirzel S., Schroeter M., Hettesheimer T. Electric or pneumatic? Comparing electric and pneumatic linear drives with regard to energy efficiency and costs. *ECEEE Industrial Summer Study Proceedings 2014*; 475-485.
- <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (Erişim: 29.03.2022)
- <https://www.isotechinc.com/belt-driven-versus-ball-screw-actuators/> (Erişim: 29.03.2022)
- Kagawa T. Energy comparison of electric and pneumatic actuators. *Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power 2002*; 5(2): 345-351, Nara.
- Nevaranta N., Parkkinen J., Lindh T., Niemelä M., Pyrhönen, O., Pyrhönen J. Online estimation of linear tooth belt drive system parameters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2015; 62(11): 7214-7223
- Raisch A., Sawodny O. Consumption minimization for electromechanical drives by energy-optimal feedforward control. *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC) October 2019 Pages 1557–1562*
- Raisch A., Sawodny O. Energy savings in pneumatically driven plants. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 2022; 27(2): 1023-1033.
- Rakova E., Hepke J., Weber J. EXonomy analysis for the Inter-domain comparison of electromechanical and pneumatic drives. In *Proceedings of the 10th International Fluid Power Conference*; 3: 117-136, 8-10 Mart 2016, Dresden.
- Shi Y., Cai M., Xu W., Wang Y. Methods to evaluate and measure power of pneumatic system and their applications. *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 2019; 32(42): 1-11.
- Wojtkowiak D., Talaska K., Wilczynski D., Górecki J., Waleesa K. Determining the power consumption of the automatic device for belt perforation based on the dynamic model. *Energies* 2021; 14(2): 317.
- Yu Q., Zhai J., Wang Q., Zhang X., Tan X. Experimental study of a new pneumatic actuating system using exhaust recycling. *Sustainability* 2021; 13: 1645.
- Zaim A., Aras, H. Pnömatik sistemlerde enerji verimliliği. *Mühendis ve Makina*, 2020; 61(698): 31-45.

Market Zinciri Ürün Dağıtım Probleminin Farklı Genetik Algoritma Versiyonları ile Çözümü ve Karşılaştırması

Burak GÜLMEZ^{1*}

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

¹<https://orcid.org/0000-0002-6870-6558>

*Sorumlu yazar: burakgulmez@erciyes.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.05.2022

Kabul tarihi: 22.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Gezgin satıcı problemi
Metaheuristic algoritmalar
Genetik algoritma
Ürün dağıtım

ÖZ

Bu çalışmada Kayseri’de bulunan bir market zinciri için ürün dağıtımlarının en düşük mesafe ve en düşük maliyet ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Market şubeleri çok fazla olduğu için ürün dağıtımlarının farklı sıralamalar ile yapılması, sonucu oldukça etkilemektedir. Bu problem gezgin satıcı problemi şeklinde tanımlanmıştır. Gezgin satıcı problemi büyük boyutlu olduğunda polinom zaman içerisinde saf tam sayılı doğrusal programlama ile çözülememektedir. Bundan dolayı NP-zor bir problem türüdür. Bu yüzden çözüm için genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma optimum çözümü garanti etmez fakat kabul edilebilir çözümler elde edebilir. Ayrıca bu çözümleri kısa bir zaman içerisinde elde eder. Elde edilen çözüm optimum olmasa bile kabul edilebilir seviyededir. Bu çalışmada Kayseri’deki 61 adet market için genetik algoritma ile bir rota oluşturulmuştur. Klasik genetik algoritmaya ilave olarak son yıllarda çıkan genetik algoritma varyasyonları kullanılmıştır. Tüm bu algoritmalar sonucunda bütün marketleri dolaşmak için yaklaşık 80 kilometrelik bir mesafe elde edilmiştir. Elde edilen çözüm incelendiğinde gayet iyi bir rota olduğu gözlemlenmiştir.

Optimizing and Comparison of Market Chain Product Distribution Problem with Different Genetic Algorithm Versions

Research Article

Article History:

Received: 16.05.2022

Accepted: 22.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Traveling salesman problem
Metaheuristic algorithms
Genetic algorithm
Product distribution

ABSTRACT

In this study, it is aimed to carry out product distributions with the lowest distance and lowest cost for a market chain in Kayseri. Since there are too many market branches, the distribution of products in different orders affects the result quite a lot. This problem has been defined as the traveling salesman problem. When the traveling salesman problem is large, it cannot be solved by integer linear programming in polynomial time. It is therefore an NP-hard problem type. Therefore, a genetic algorithm was used for the solution. The genetic algorithm does not guarantee the optimum solution, but it can obtain acceptable solutions. It also obtains these solutions in a short time. The solution obtained is at an acceptable level, even if it is not optimal. In this study, a route was created with a genetic algorithm for 61 markets in Kayseri. In addition to the classical genetic algorithm, genetic algorithm variations that have emerged in recent years have been used. As a result of all these algorithms, approximately 80 kilometers has been obtained to visit all the markets. When the solution obtained was examined, it was observed that it was a very good route.

To Cite: Gülmez B. Market Zinciri Ürün Dağıtım Probleminin Farklı Genetik Algoritma Versiyonları ile Çözümü ve Karşılaştırması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 180-196.

1. Giriş

Gezgin satıcı problemi, konumları ve aralarındaki uzaklıkları bilinen şehirler arasında bir satıcının dolaşmasını konu edinen bir problem türüdür. Bu satıcı her şehre bir kez uğramaktadır. En kısa mesafe veya en az maliyetli şekilde şehirlerin gezilmesi amaçlanmaktadır. Kolay bir problem gibi görülebilir fakat çözmesi oldukça zordur. Çünkü şehir sayısı arttıkça çözüm varyasyonları üstel olarak artar. Bu da NP-zor (NP-hard) bir problem türü olmasına sebep olur (Flood, 1956). Çok küçük boyuttaki gezgin satıcı problemini çözmek kolay olabilir fakat büyük boyuttaki problemler için çözüm zorlaşır ve bu yüzden genetik algoritma yaklaşımı kullanılabilir (Moon ve ark., 2002).

Genetik algoritma metasezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Bütün metasezgisel algoritmalar gibi rastgele çözümlerle başlar ve zaman geçtikçe çözümleri iyileştirir. Optimum çözümü garanti etmez fakat kabul edilebilir seviyede çözümler bulabilir. Ayrıca bulduğu çözümleri hızlı bir biçimde bulur. Metasezgisel algoritmaların genel kullanım amacı optimum veya optimuma yakın çözümü kısa süre içinde elde etmektir (Whitley, 1994; Gülmez ve Kulluk, 2019).

Gezgin satıcı problemi popüler bir konu olduğu için literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Little ve ark. (1963) gezgin satıcı problemi için dal ve sınır (branch and bound) algoritmasını gezgin satıcı problemi üzerinde çalıştırmışlardır. Bu algoritma kesin çözüm vermektedir. Fakat sadece küçük boyutlu problemlerde kullanılabilir. Büyük boyutlu problemlerde süreden dolayı kullanılamaz.

Held ve Karp (1970) çalışmalarında minimum kapsayan ağaç (minimum spanning tree) yaklaşımını gezgin satıcı problemi üzerinde uygulamışlardır. Böylece çözümler için bir alt sınır elde etmişlerdir. Daha sonra oluşturdukları ağaç üzerinden yeni çözümlere geçmişlerdir.

Wang ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada parçacık sürü algoritmasını (particle swarm algorithm) gezgin satıcı problemine uyarlamışlardır. Ayrıca algoritma içerisindeki bazı değişim operatörlerini güncelleyerek gezgin satıcı problemine uygun bir hale getirmişlerdir. Sonuç olarak iyi çözümler elde etmişlerdir.

Yıldırım ve ark. (2016) toprak altında yaşayan kör farelerin kurdukları tünel sisteminden esinlenilerek oluşturulan kör fare algoritması ile gezgin satıcı problemine çözüm aramışlardır. Literatür verileri üzerinde çalışmışlardır ve kör fare algoritmasının başlangıç çözümleri açısından iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Şahin ve Karagül (2019) gezgin satıcı problemi için bir genetik algoritma varyantı olan akışkan genetik algoritma, en yakın komşu sezgiseli ve 2-opt sezgiselini birlikte kullanmışlardır. Literatür verileri üzerinden yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlar gayet iyi çıkmıştır.

Ertuğrul ve Özçil (2016) siyasi partilerin yaptıkları mitinglerden esinlenerek bir çalışma yapmışlardır. Siyasi partiler seçim zamanlarında şehirleri sırayla dolaşırlar. Türkiye’de çok sayıda şehir olduğu için en kısa rotayı bulmak için çalışmışlardır. Bunun için ise genetik algoritma kullanmışlardır.

Özkır ve Topçu (2018) melez bir elektro-manyetizma sezgiseli ile gezgin satıcı problemine çözüm aramışlardır. Elektro-manyetizma sezgiseli elektromanyetizma teorisinden esinlenilerek geliştirilmiştir. 15 adet literatür verisi üzerinde test edilen algoritma iyi sonuçlar vermiştir.

Şahin (2019) yaptığı çalışmada gezgin satıcı problemi için farklı sezgisel ve metasezgisel algoritmaları test etmiştir. 16 literatür verisi ile yaptığı çalışmaya göre en iyi sonucu en yakın komşu ve 2-opt hibrit algoritmasının en iyi sonucu verdiğini gözlemlemiştir.

Karagül (2019a) yaptığı çalışmada Prüfer-Karagül isminde yeni bir algoritma oluşturmuştur. Literatürdeki gezgin satıcı problemleri verileri üzerinde yaptığı çalışmalardan elde ettiği sonuçlar hem çözüm kalitesi olarak hem de süre olarak başarılıdır.

Karagül (2019b) yaptığı çalışmada TPORT adını verdiği yeni bir yaklaşımı gezgin satıcı problemlerinde kullanmıştır. Bu yeni yöntem uzaklık matrisi üzerinde çalışarak başlangıç çözümleri elde etmektedir. Bu sayede kullanılan algoritmaların sonuçlarında bir iyileştirilmeye gidilmiştir.

Tüker ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada karınca koloni algoritması ile gezgin satıcı problemini çözmeye çalışmışlardır. Çok etmenli sistemler yaklaşımıyla NetLogo ortamında problemi çözmüşlerdir.

Dikmen ve ark. (2014) karınca koloni algoritması ve genetik algoritmayı gezgin satıcı problemi üzerinde test etmişlerdir ve ortaya çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Veri kümesi olarak Türkiye haritası kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre karınca koloni algoritması daha iyi sonuçlar vermiştir.

Hussain ve ark. (2017) genetik algoritma üzerinde bir değişiklik yapmışlardır ve çaprazlama işlemlerini modifiye etmişlerdir. Bu sayede gezgin satıcı problemi için daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Osaba ve ark. (2018) ayırık su döngüsü algoritmasıyla (discrete water cycle algorithm) simetrik ve simetrik olmayan gezgin satıcı problemi üzerinde çalışmışlardır. 33 farklı veri kümesi üzerinde çokça kullanılan sezgiseller algoritmalarla karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak önerdikleri algoritma iyi sonuçlar vermiştir.

Ha ve ark. (2020) çalışmalarında gezgin satıcı probleminin drone ile ulaştırılması problemini ele almışlardır. Hibrit bir genetik algoritma ile bu problemi çözmüşlerdir. Klasik genetik algoritmadan farklı olarak çaprazlama sonrası ortaya çıkan yeni bireyler üzerinde yerel arama yöntemi ile geliştirmeler yapmışlardır. Bu geliştirmeler sayesinde daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Sharma ve Jain (2021) yaptıkları çalışmada klasik gezgin satıcı problemi üzerinde uğraşmışlardır. Genetik algoritmadaki çaprazlama yöntemi değiştirmişlerdir. Tek noktalı çaprazlama kullanırlarken, çaprazlama noktasından sonraki değerleri en yakın komşu algoritmasına göre seçmişlerdir. İlk genden çaprazlama noktasına kadarki kısım aynı kalmıştır. Geri kalan kısım en yakın komşu algoritmasına göre düzenlemişlerdir. Bu sayede çözümlerde geliştirmeler elde etmişlerdir.

Agrawal ve Jain (2020) çalışmalarında gelişmiş bir genetik algoritma versiyonuyla gezgin satıcı problemi çözmüşlerdir. Değişiklik olarak çaprazlama için seçilen kromozomların bir kısmı popülasyondan, diğer kısmı ise ağgözlü bir yaklaşım olan en yakın komşu algoritması üzerinden seçmişlerdir. Yaptıkları bu iyileştirme ile sonuçları daha iyi hale getirmişlerdir.

Alkafaween ve ark. (2020) yeni bir bakış açısıyla genetik algoritmada geliştirmeler yapmışlardır. Değişiklik başlangıç popülasyonu oluşturmak için yapılmıştır. Öncelikle noktalar k-ortalamar yöntemine göre kümelerle ayrılmıştır. Alt kümeleri kendi içerisinde çözmüşlerdir. Daha sonra bu alt kümeleri birleştirilerek başlangıç popülasyonu oluşturmuşlardır. Bu sayede başlangıçta iyi çözümler elde etmişlerdir ve iterasyonlar ilerledikçe daha kaliteli çözümlere ulaşmışlardır.

Literatürdeki bu çalışmalara ek olarak çok sayıda karınca koloni algoritması (Gülcü ve ark., 2018; Liao and Liu, 2018; Chowdhury ve ark., 2019; Eskandari ve ark., 2019; Gao, 2020; Pamosoaji ve Setyohadi, 2020; Rokbani ve ark., 2020), parçacık sürü algoritması (Wang ve Xu, 2017; Cheng ve ark., 2017; Cansiz ve Göçmen, 2018; Khan ve ark., 2018; Zhong ve ark., 2018; Gulcu ve Ornek, 2019), yapay arı kolonisi algoritması (Zhong ve ark., 2017; Choong ve Wong, 2018; Choong ve ark., 2019; Fairee ve ark., 2019; Karaboga ve Gorkemli, 2019; Khan ve Maiti, 2019; Pandiri ve Singh, 2019) gibi algoritmalar kullanan çalışmalar vardır.

Bu çalışmanın amacı Kayseri’de bulunan bir market zinciri için optimum şekilde ürün dağıtımlarını bulmaktır. Bunun için problem, gezgin satıcı problemine benzetilmiştir. Çözüm için ise genetik algoritma kullanılmıştır. Böylece en düşük maliyetle ve en kısa mesafe ile ürün dağıtımları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada birinci bölümde konuya bir giriş yapılmıştır ve literatürde yapılan ilgili çalışmalar anlatılmıştır. İkinci kısımda ise öncelikle gezgin satıcı problemi anlatılmış ve Kayseri’deki market zincirinin şubeleri harita üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca genetik algoritma hakkındaki bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü kısımda market ürün dağıtım problemi gezgin satıcı problemi şeklinde modellenmiş ve genetik algoritma ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar anlatılmıştır. Son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılmış ve gelecek çalışmalar için öneride bulunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin satıcı problemi (Traveling salesman problem) aralarındaki uzaklıkların bilindiği şehirlerin her birinden bir kez geçerek bu şehirleri dolaşmak isteyen bir satıcının rotasını en kısa yoldan veya en düşük maliyetli yoldan oluşturması problemidir (Nuriyeva ve Kizilateş, 2016).

Gezgin satıcı problemi Karl Menger tarafından 1930’lu yıllarda tanımlanmıştır. Çözümü zor bir problemdir, NP-zor (NP-hard) türünde bir problemdir. Gezgin satıcı probleminin popüler olmasının dört sebebi vardır (Çolak, 2010; Pulat ve Kocakoç, 2019):

- Tanımlanması kolay, çözümü zor bir problemdir.
- Kısa sürede kesin çözümü veren bir yöntem bulunamamıştır.
- Gerçek hayat problemleri gezgin satıcı türünde modellenebilir.
- Algoritmaları test etmek için farklı veri kümeleri mevcuttur.

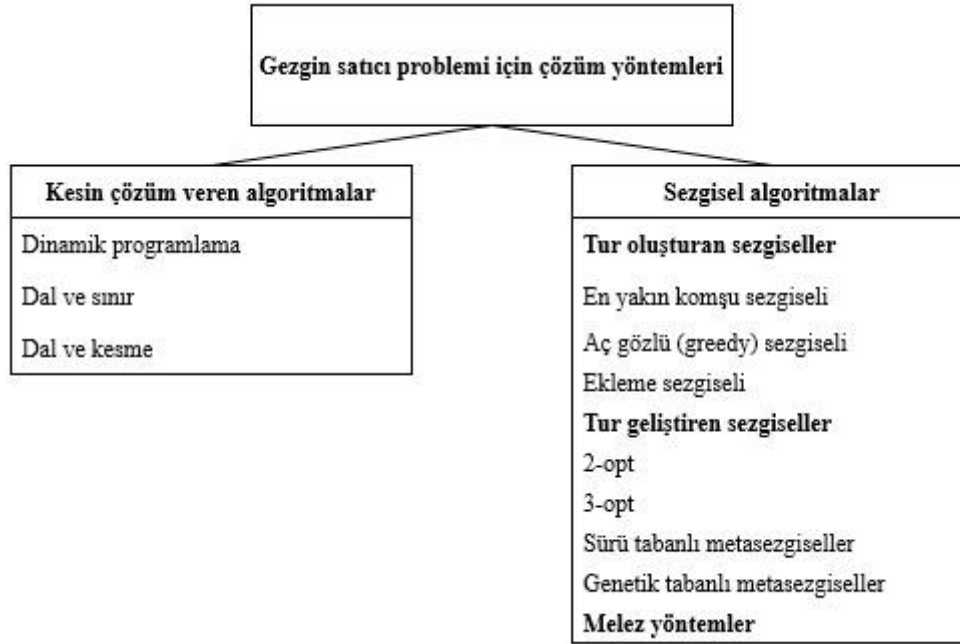
Gezgin satıcı probleminde eğer n adet şehir varsa $(n-1)!/2$ adet çözüm vardır (Fujimura, 2020). Eğer mesafe matrisi simetrik değilse $(n-1)!$ adet çözüm vardır. Bu çalışmadaki mesafe matrisi simetriktir.

Tablo 1’de görüldüğü üzere düğüm sayısı artıkça çözüm sayısı olağanüstü bir şekilde artmaktadır. Hatta bu çalışmadaki 61 adet market düşünüldüğünde $4,16 * 10^{81}$ adet çözüm mevcuttur.

Tablo 1. Gezgin satıcı problemi için düğüm ve çözüm sayıları

| Düğüm sayısı | Çözüm sayısı $(n-1)!/2$ |
|--------------|-------------------------|
| 10 | $1,81 * 10^{05}$ |
| 30 | $4,42 * 10^{30}$ |
| 50 | $3,04 * 10^{62}$ |
| 61 | $4,16 * 10^{81}$ |

Gezgin satıcı problemini çözmek için farklı algoritmalar kullanılabilir. Bu algoritmalar kesin çözüm veren algoritmalar ve sezgisel algoritmalar olarak iki farklı kategoride incelenebilir. Kesin çözüm veren algoritmalar dinamik programlama, dal ve sınır algoritması ve dal ve kesme algoritmalarıdır. Sezgisel algoritmalar ise üç kategoriye ayrılabilir. Bunlar tur oluşturan sezgiseller, tur geliştiren sezgiseller ve melez yöntemlerdir. Genetik tabanlı algoritmalar tur geliştiren sezgiseller içerisinde yer almaktadır. Şekil 1’de gezgin satıcı problemi için çözüm yöntemleri gösterilmiştir (Pulat ve Kocakoç, 2017).

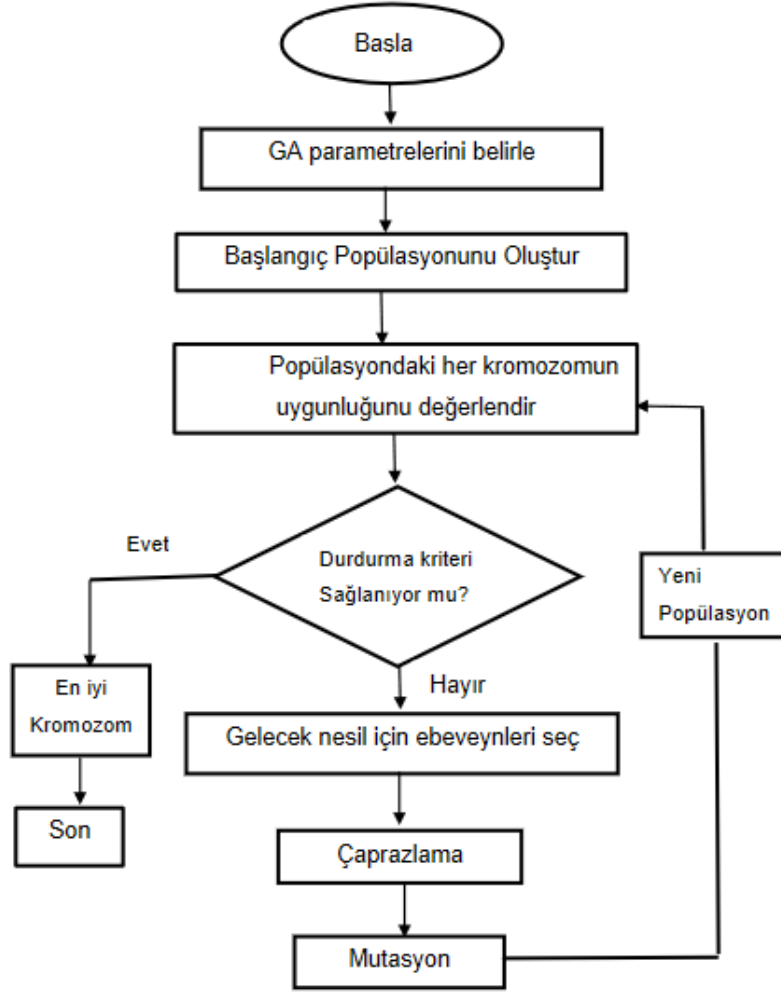


Şekil 1. Gezgin satıcı problemi için çözüm yöntemleri (Pulat ve Kocakoç, 2017)

2.2 Genetik Algoritma

Genetik algoritma bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Genel prensip olarak çözümler, genlerden oluşan kromozomlar olarak tanımlanmıştır ve iyi çözümler sonraki nesillere aktarılır, kötü çözümler sonraki nesillere aktarılamaz. Güçlü olan hayatta kalır prensibine göre çalışmaktadır. Genetik algoritmada arama uzayı bireylerden yani çözümlerden oluşmaktadır. Çözümler kromozom olarak ifade edilir ve her bir kromozom bir dizi veya matris şeklindedir. Her bireyin kalitesi amaç fonksiyonu ile ölçülür. Eğer amaç minimizasyon ise düşük amaç fonksiyonuna sahip bireyler daha

değerlidir. Eğer amaç maksimizasyon ise yüksek değerli çözümler daha değerlidir. İlk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu başlangıç popülasyonundaki çözümler rastgele değerler alırlar. Sonra bu çözümlerin her biri amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir ve her birine bir değer verilir. En iyi değere sahip bireyler seçilirler ve çaprazlama ile yeni çözümler oluşturulur. Daha sonra mutasyon ile de yeni bireyler oluşturulur. En sonunda bütün bu bireyler içerisindeki iyi çözümler sonraki nesile aktarılır. Kötü çözümler ise elenir. Bu işlem durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Genetik algoritma akış diyagramı Şekil 2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. Genetik algoritma akış diyagramı (Pulat ve Kocakoç, 2019)

Genetik algoritma beş aşamaya ayrılabilir:

- Başlangıç popülasyonu
- Amaç fonksiyonu
- Seçilim
- Çaprazlama
- Mutasyon

2.2.1 Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç, popülasyon adı verilen bir grup bireyle başlar. Her birey, çözmek istediğiniz problem için bir çözümdür. Bir birey kromozomdan oluşur. Kromozomları ise genler oluşturur. Genler, bir kromozom oluşturmak için bir dizi halinde birleştirilir. Tablo 2’de görülen örnekte her biri toplam 9 gene sahip 2 adet kromozom yani çözüm bulunmaktadır. Popülasyon büyüklüğü 2’dir. Başlangıç popülasyonu, rastgele bir biçimde oluşturulmuş genler ve kromozomlardan oluşan bir popülasyondur.

Tablo 2. Popülasyon, kromozom ve gen gösterimleri

| Popülasyon | Kromozom 1 | 1 (Gen) | 8 | 2 | 9 | 7 | 3 | 4 | 6 | 5 | |
|------------|------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kromozom 2 | 8 | | 7 | 6 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 9 |

2.2.2 Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, bir bireyin ne kadar değerli veya istenen amaca yönelik olduğunu belirler. Ayrıca bu bir bireyin diğer bireylerle rekabet edebilme yeteneğidir. Her bir bireye bir amaç fonksiyonu puanı verilir. Bir bireyin üreme için seçilme olasılığı, bu amaç fonksiyonu değerine bağlıdır.

2.2.3 Seçilim

Seçilim aşamasında en uygun bireyler seçilmeye ve sonraki nesillere aktarılmaya çalışılır. Ayrıca çaprazlama aşaması için de ebeveyn seçimi gerekmektedir. Onlar için de seçilim yapılacaktır. Seçilim için amaç fonksiyonlarının değerlerine göre seçilim yapan rulet tekerleği yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem sık kullanılan bir seçilim yöntemidir ve iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemle alakalı örnek bir seçilim Tablo 3’te verilmiştir. Buradaki seçilme şansı maksimizasyon problemleri için geçerlidir. Minimizasyon problemleri için amaç fonksiyonu değeriyle ters orantılı olarak düzenlenmelidir, yani amaç fonksiyonu değerinin çarpma işlemine göre tersi dikkate alınmalıdır.

Tablo 3. Seçilim olasılıkları

| Bireyler | Amaç fonksiyonu değeri | Seçilme şansı |
|---------------|------------------------|---------------|
| Birey 1 | 100 | 0,20 |
| Birey 2 | 200 | 0,40 |
| Birey 3 | 150 | 0,30 |
| Birey 4 | 50 | 0,10 |
| <i>Toplam</i> | <i>500</i> | <i>1</i> |

2.2.4 Çaprazlama

Çaprazlama genetik algoritmanın en önemli kısmıdır. Burada iyi çözümler kendi aralarında gen değişimine giderler. Bu sayede yeni çözümler elde edilir. Elde edilen yeni çözümler iyi çözümlerden elde edildiği için çözümlerin kalitesi de korunmuş olur. Çaprazlamada iki farklı varyasyon denenebilir. İlki tek noktali çaprazlama, ikincisi ise çift noktali çaprazlamadır. Tek noktali çaprazlamada iki ayrı bireyin kromozomları rastgele bir noktadan ikiye bölünür ve parçalar bireyler arasında takas edilir. Böylece iki yeni birey meydana gelir. Tablo 4’te tek noktali çaprazlama işlemi görülebilir. Kırmızı

renkli ve kalın çizgili noktadan çaprazlama gerçekleştirilmiştir. Çaprazlama sonrasında iki yeni birey ortaya çıkmıştır. Daha sonra bu iki yeni bireyde tekrar eden genler oluşmuştur ve bu genler düzeltme ile tekrarsız hale getirilmiştir. Düzeltme işlemi için öncelikle tekrarlayan sayılar saptanır. Sonra eksik olan sayılar saptanır. Birden fazla tekrarlayan sayılar veya birden fazla eksik sayılar olabilir. Eksik olan sayılar, tekrarlayan sayıların yerine rastgele bir biçimde atanır.

Tablo 4. Tek noktalı çaprazlama

| Ebeveyn bireyler | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Birey 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Birey 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| Çocuk bireyler | | | | | |
| Birey 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Birey 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 5 |
| Düzeltilme | | | | | |
| Birey 3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| Birey 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 2 |

Çift noktalı çaprazlamada ise bireylerin kromozomları iki farklı noktadan işaretlenir ve üç parçaya bölünür. Ortadaki parçalar bireyler arasında takas edilir ve iki yeni birey meydana gelir. Tablo 5’te çift noktalı çaprazlama örneği görülebilir. İki ebeveyn bireyler için iki nokta belirlenmiştir. Bu noktalar kırmızı renkte ve kalın olarak işaretlenmiştir. Bu işaretli yerlerden kromozomlar üçe bölünmüştür. Ortadaki parçalar takas edilmiş ve iki yeni birey elde edilmiştir. Bu bireyler daha sonra tekrarlayan gen olmaması için düzeltmeye uğramışlardır.

Tablo 5. Çift noktalı çaprazlama

| Ebeveyn bireyler | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Birey 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Birey 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| Çocuk bireyler | | | | | |
| Birey 3 | 1 | 5 | 1 | 4 | 5 |
| Birey 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Düzeltilme | | | | | |
| Birey 3 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 |
| Birey 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 4 |

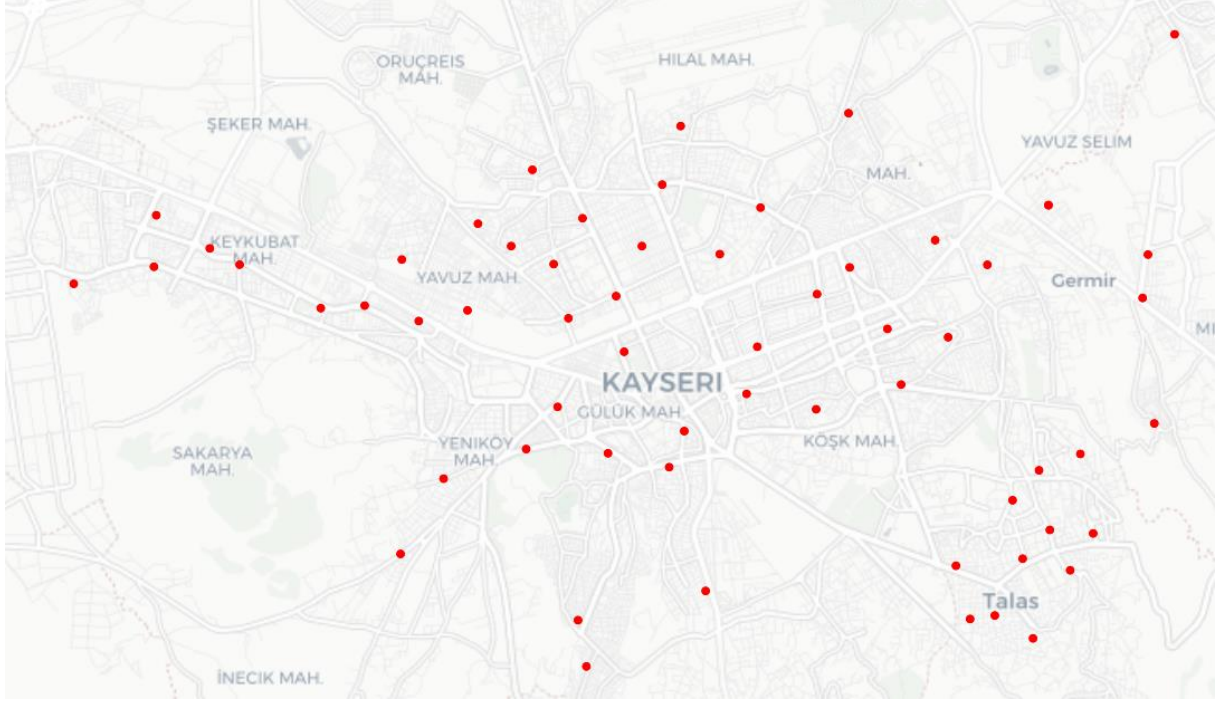
2.2.5 Mutasyon

Mutasyon sayesinde çözümler içerisindeki çeşitlilik artar. Eğer çözümler sürekli birbirlerine benzemeye başladıysa mutasyon ile dar alandan çıkıp farklılaşırlar. Fakat mutasyon çok fazla olursa da çözümlerin iyiye doğru gitme hızları azalır. Bu yüzden mutasyon gereklidir fakat düşük oranda tutulmalıdır. Mutasyon bir kromozomdaki genlerin rastgele olarak değişime uğramasına denir. Kromozomlardaki rastgele seçilen bir gen değişime uğrar. Böylece yeni bir çözüm elde edilmiş olur. Bütün bu aşamalardan sonra sonraki iterasyona (nesile) geçilir. Bu işlemler durdurma kriteri sağlanan kadar devam eder. Tablo 6’da görüldüğü üzere kırmızı renkte iki farklı gen seçilmiştir ve bu genler yer değiştirmiştir. Böylece yeni bir çözüm elde edilmiştir.

| Tablo 6. Mutasyon | | | | | |
|-------------------|---|---|---|---|---|
| Mutasyon öncesi | | | | | |
| Birey 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mutasyon sonrası | | | | | |
| Birey 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 5 |

2.3. Market Zinciri Şubeleri

Market zincirinin Kayseri’de 61 adet şubesi bulunmaktadır. Şekil 3’te bu şubelerin konumları görülebilir. En kısa yoldan bütün şubelerin dolaşılması amaçlanmaktadır.



Şekil 3. Market şubeleri ve konumları

3. Bulgular ve Tartışma

Genetik algoritma ile gezgin satıcı problemi türünde bir problem olan marketlere ürün dağıtım rotalama problemine çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Market zinciri Kayseri’de faaliyet göstermektedir. Ve toplam 61 şubeye sahiptir. Market zincirinin şubelerinin koordinat değerleri ve konumları Yandex Haritalar sayesinde toplanmıştır. Daha sonra bu elde edilen veriler ile şubeler arası mesafeler ölçülmüş ve Python programlama dili ile genetik algoritma kullanılarak gezgin satıcı problemi çözümü üzerine kod yazılmıştır. Amaç market zincirinin şubelerine dağıtım yapacak olan araçların en kısa mesafeyi kat etmesini sağlamaktır. Performans kriteri olarak mesafe uzunluğu dikkate alınmıştır. Mesafeler hesaplanırken Öklit uzaklıkları hesaplanmıştır ve kullanılmıştır. Tur için gereken toplam mesafe ne kadar az ise çözüm o kadar başarılıdır. Genetik algoritma 100 birey, 2000 iterasyon, çaprazlama olasılığı 0,90 ve mutasyon olasılığı 0,01 olarak çalıştırılmıştır. Parametre değerleri Tablo 7’deki gibidir.

Tablo 7. Genetik algoritma parametre değerleri

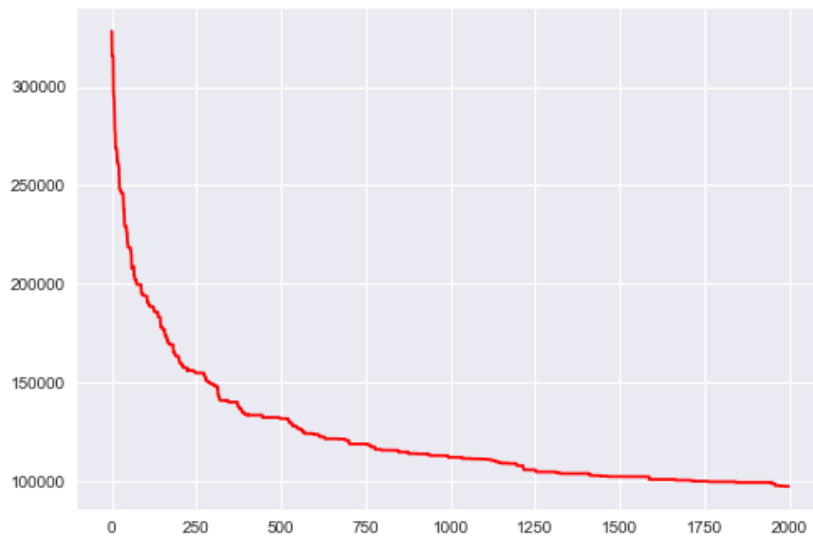
| Parametre | Değer |
|----------------------|-------|
| Popülasyon büyüklüğü | 100 |
| Çaprazlama olasılığı | 0,90 |
| Mutasyon olasılığı | 0,01 |

Bu çalışmada genetik algoritmanın çeşitli varyasyonları ile çalışılmıştır. Bazı araştırmacılar çalışmalarında genetik algoritmayı farklı çaprazlama, seçim, mutasyon türleriyle kullanmışlardır. Bu farklı varyasyonlar da denenmiştir. Bu farklı varyasyonlar Tablo 8’de görülebilir.

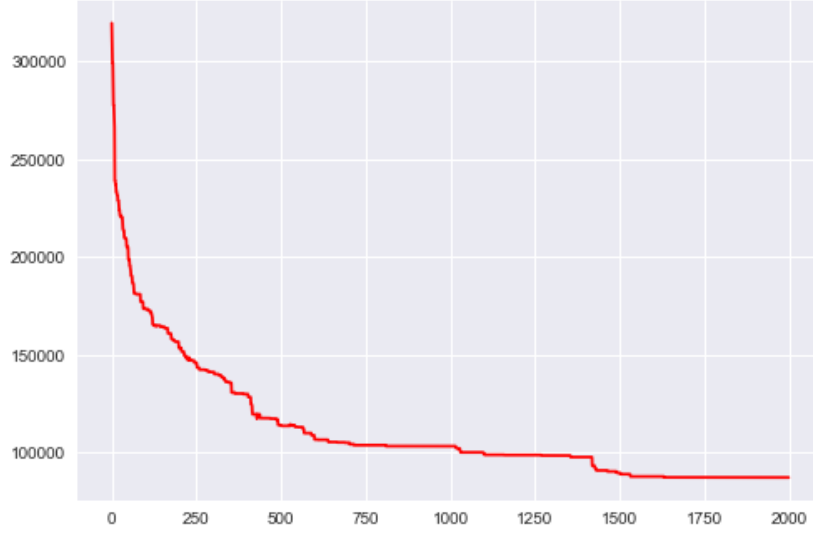
Tablo 8. Genetik algoritma varyasyonları

| Algoritma | Açıklama |
|--|---|
| Algoritma 1 (Ha ve ark., 2020) | Çaprazlama sonrası ortaya çıkan yeni bireyler üzerinde yerel arama yöntemi ile geliştirmeler yapılmaktadır. |
| Algoritma 2 (Sharma ve Jain, 2021) | Çaprazlama yöntemi değiştirilmiştir. Tek noktalı çaprazlama kullanılırken, çaprazlama noktasından sonraki değerleri en yakın komşu algoritmasına göre seçilmiştir. İlk genden çaprazlama noktasına kadarki kısım aynı kalmıştır. Geri kalan kısım en yakın komşu algoritmasına göre düzenlenmiştir. |
| Algoritma 3 (Agrawal ve Jain, 2020) | Çaprazlama için seçilen kromozomların bir kısmı popülasyondan, diğer kısmı ise açgözlü bir yaklaşım olan en yakın komşu algoritması üzerinden seçilmiştir. |
| Algoritma 4 (Alkafaween ve ark., 2021) | Değişiklik başlangıç popülasyonu oluşturmak için yapılmıştır. Öncelikle noktalar k-ortalamlar yöntemine göre kümelere ayrılır. Alt kümeler kendi içerisinde çözülür. Daha sonra bu alt kümeler birleştirilerek başlangıç popülasyonu oluşturulur. |

Klasik genetik algoritma ve dört farklı versiyonu ile çalışılmıştır. Klasik genetik algoritma ile elde edilen sonuç grafiği Şekil 4’te gösterilmiştir. İterasyonlara bağlı olarak uzaklıklardaki değişimler metre cinsinden grafikten görülmektedir. 2000 iterasyon sonucunda bulunan çözüm 100 kilometrenin altına inmiştir.

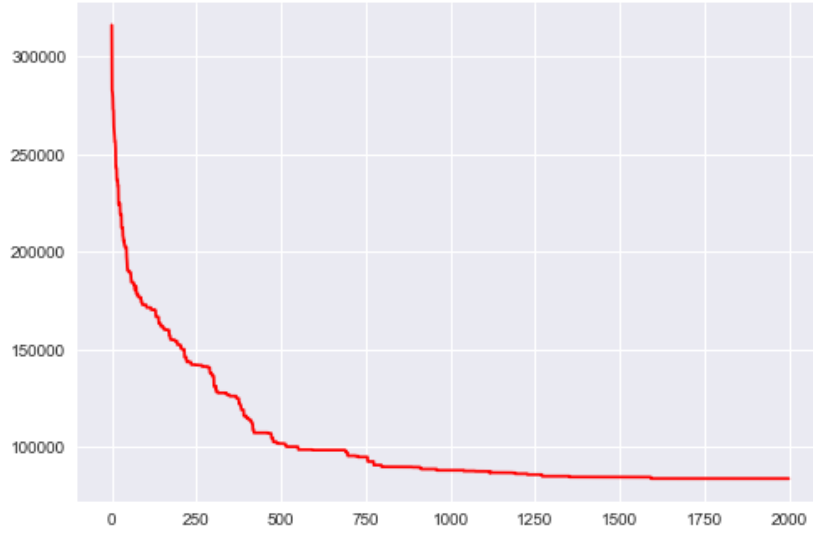
**Şekil 4.** Klasik genetik algoritma ile elde edilen iterasyonlara bağlı uzaklık değerleri

Algoritma 1 ile elde edilen sonuç Şekil 5'te gösterilmiştir. Algoritma 1 ile 2000 iterasyon sonucunda toplam uzaklık değeri 85 kilometre çıkmıştır.



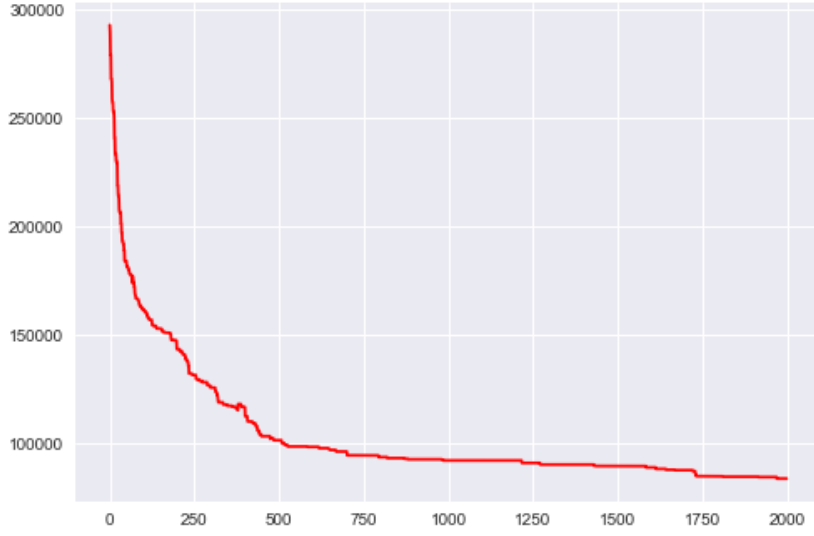
Şekil 5. Algoritma 1 ile elde edilen iterasyonlara bağlı uzaklık değerleri

Algoritma 2 ile elde edilen sonuç Şekil 6'da gösterilmiştir. 2000 iterasyon sonunda uzaklık 85 kilometre değerine inmiştir.



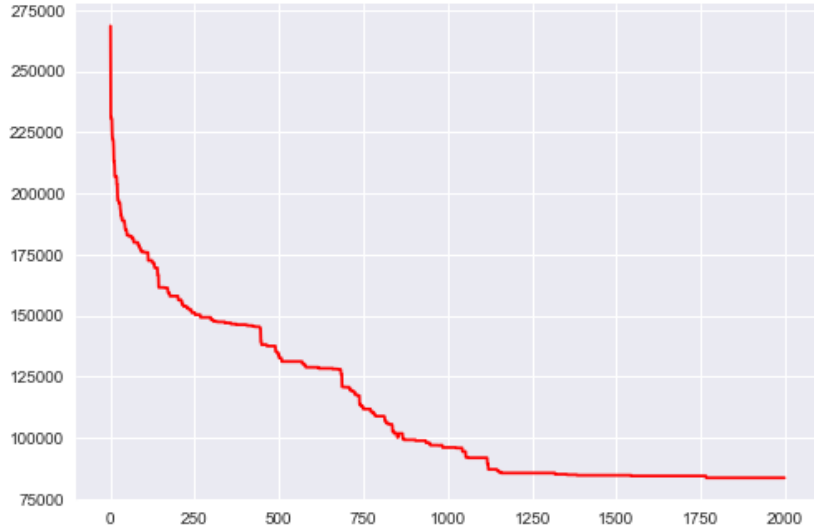
Şekil 6. Algoritma 2 ile elde edilen iterasyonlara bağlı uzaklık değerleri

Algoritma 3 ile elde edilen sonuç Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu algoritma ile alınan sonuç da 85 kilometre civarı bir değere inmiştir. Fakat bu algoritmada başlangıç çözümleri iyileştirildiğinden ilk iterasyondaki değerler klasik genetik algoritma, Algoritma 1 ve Algoritma 2'ye göre daha düşüktür. Fakat 2000 iterasyon sonucunda başlangıçtaki kadar fark oluşmamıştır.



Şekil 7. Algoritma 3 ile elde edilen iterasyonlara bağlı uzaklık değerleri

Algoritma 4 ile elde edilen sonuç Şekil 8’de gösterilmiştir. Burada da başlangıç popülasyonu iyi değerler elde etmiştir. 2000 iterasyon sonunda 85 kilometre civarı bir değer elde edilmiştir.



Şekil 8. Algoritma 4 ile elde edilen iterasyonlara bağlı uzaklık değerleri

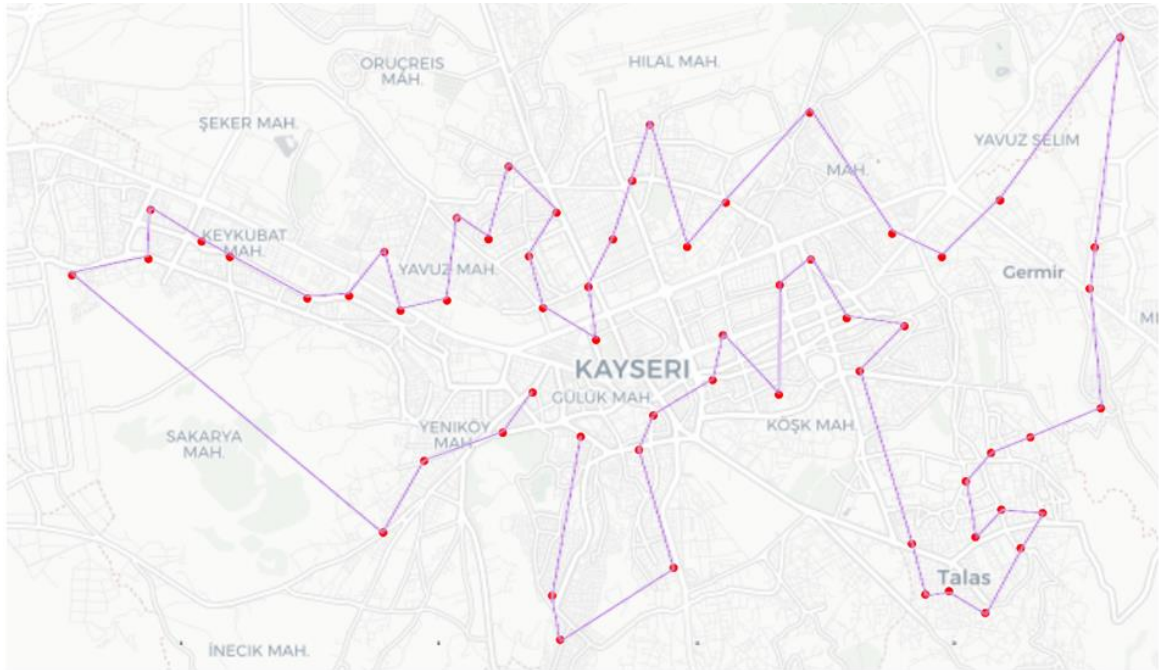
Test edilen dört farklı genetik algoritma versiyonunun tamamı da klasik genetik algoritmayı geçmiştir. Kendi aralarında yapılan karşılaştırmada ise oldukça yakın sonuçlar vermişlerdir. Bunun için her bir algoritma çok tekrarlı çalıştırılarak sonuçların karşılaştırılması en doğru sonucu verecektir. Böylece ortalama değerler ve standart sapmalar gözlemlenebilir ve karşılaştırma yapılabilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 9’da görüldüğü gibidir. Her bir algoritma 10 kez çalıştırılmıştır. Çalıştırılan algoritmaların ortalama ve standart sapma değerleri bulunmuştur.

Tablo 9. Algoritmaların karşılaştırılması

| Algoritma | Ortalama | Standart sapma |
|--------------------------|----------|----------------|
| Klasik Genetik Algoritma | 97,45 | 8,01 |
| Algoritma 1 | 86,76 | 4,16 |
| Algoritma 2 | 82,93 | 4,87 |
| Algoritma 3 | 88,18 | 5,11 |
| Algoritma 4 | 85,37 | 2,42 |

Sonuçlar incelendiği zamanen iyi sonucu 82,93 kilometre ile Algoritma 2 vermiştir. En düşük standart sapmayı ise Algoritma 4 vermiştir. Genetik algoritmalarındaki farklı versiyonların çözüm üzerinde etki ettikleri görülmektedir. Algoritmalarından elde edilen en iyi çözüm ise Şekil 9’da görülebilir.



Şekil 9. Elde edilen en iyi çözüm

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Kayseri’de faaliyet gösteren bir market zinciri için ürün dağıtım problemi ele alınmıştır. Market zincirinin toplam 61 adet şubesi bulunmaktadır. 61 adet şubeyi sırayla dolaşmak için çok sayıda varyasyon elde edilmektedir. Bu problem gezgin satıcı problemine dönüştürülerek çözülebilir. Gezgin satıcı problemini çözmek için kesin çözüm veren matematiksel programlama algoritmaları küçük boyuttaki problemler için kısa süre içerisinde çözüm bulabilmektedir. Fakat problem boyutu büyüdüğünde kısa bir süre içerisinde sonuç veremezler. Bu yüzden sezgisel algoritmalar kullanmak gerekmektedir. Böylece kısa bir süre içerisinde çözüm elde edilmiş olur. Genetik algoritma oldukça popüler ve iyi sonuçlar veren bir algoritmadır. Gezgin satıcı problemine de uyarlanabilir. Gezgin satıcı problemine uyarlanan genetik algoritma çok kısa süre içerisinde kabul edilebilir çözümler verir. Bu çalışmada klasik genetik algoritma ve genetik algoritmanın farklı varyasyonları yardımıyla

Kayseri'deki market zincirinin ürün dağıtım problemi için çözüm bulunmuştur. 61 adet şubeyi dolaşmak toplam 82,93 kilometre civarı bir mesafe oluşturmuştur ve rota incelendiği zaman gayet iyi bir çözüm olduğu görülmüştür. İleriki çalışmalarda şubeler gruplanarak kendi içerisinde rotalama yapılabilir ve böylece tüm şubelerin farklı günlerdeki dolaşımını incelenebilir. Ayrıca daha farklı metasezgisel algoritmalar gezgin satıcı problemi benzeri problemler için denenebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

Kaynaklar

- Agrawal M., Jain V. Applying improved genetic algorithm to solve travelling salesman problem. Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), 15-17 Haziran 2020, Coimbatore, Hindistan.
- Alkafaween E., Hassanat AB., Tarawneh S. Improving initial population for genetic algorithm using the multi linear regression based technique (MLRBT). Communications-Scientific Letters of the University of Zilina 2021; 23(1): 1–10.
- Cansiz OF., Göçmen S. Distance analysis of multimodal transportation based on traveling salesman problem with particle swarm optimization method. International Journal of Advanced Engineering Research and Science 2018; 5(6): 264138.
- Cheng B., Lu H., Huang Y., Xu K. Particle swarm optimization algorithm based on self-adaptive excellence coefficients for solving traveling salesman problem. Journal of Computer Applications 2017; 37(3): 750–754.
- Choong SS., Wong LP. A hyper-heuristic based artificial bee colony optimization for the traveling salesman problem. Big Data Summit 2: HPC and AI Empowering Data Analytics, 3-6 October 2018, Pinang, Malezya.
- Choong SS., Wong LP., Lim CP. An artificial bee colony algorithm with a modified choice function for the traveling salesman problem. Swarm and Evolutionary Computation 2019; 44(1): 622–635.
- Chowdhury S., Marufuzzaman M., Tunc H., Bian L., Bullington W. A modified ant colony optimization algorithm to solve a dynamic traveling salesman problem: a case study with drones for wildlife surveillance. Journal of Computational Design and Engineering 2019; 6(3): 368–386.
- Çolak YS. Genetik algoritmalar yardımı ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2010; 19(3): 423–438.

- Dikmen H., Dikmen H., Elbir A., Ekşi Z., Çelik F. Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2014; 18(1): 8–13.
- Ertuğrul İ., Özçil A. Siyasi parti mitinglerinin gezgin satıcı problemi yaklaşımı ile analizi. Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi 2016; 4(4): 223–238.
- Eskandari L., Jafarian A., Rahimloo P., Baleanu D. Mathematical methods in engineering. New York: Springer; 2018.
- Fairee S., Khompatraporn C., Prom-on S., Sirinaovakul B. Combinatorial artificial bee colony optimization with reinforcement learning updating for travelling salesman problem. 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 10-13 Haziran 2019, Pattaya, Tayland.
- Flood MM. The traveling-salesman problem. Operations Research 1956; 4(1): 61–75.
- Fujimura T. Quantum algorithm for traveling salesman problem by quarter method. Global Journal of Pure and Applied Mathematics 2020; 16(5): 711–721.
- Gao W. New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem. International Journal of Computational Intelligence Systems 2020; 13(1): 44–55.
- Gülcü Ş., Mahi M., Baykan ÖK., Kodaz H. A parallel cooperative hybrid method based on ant colony optimization and 3-Opt algorithm for solving traveling salesman problem. Soft Computing 2018; 22 (5): 1669–1685.
- Gülcü SD., Örnek HK. Solution of multiple travelling salesman problem using particle swarm optimization based algorithms. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering 2019; 7(2): 72–82.
- Gülmez B., Kulluk S. Social spider algorithm for training artificial neural networks. International Journal of Business Analytics (IJBAN) 2019; 6(4): 32-49.
- Ha QM., Deville Y., Pham QD., Hà MH. A hybrid genetic algorithm for the traveling salesman problem with drone. Journal of Heuristics 2020; 26(2): 219–247.
- Held M., Karp RM. The traveling-salesman problem and minimum spanning trees. Operations Research 1970; 18(6): 1138–1162.
- Hussain A., Muhammad YS., Nauman Sajid M., Hussain I., Mohamd Shoukry A., Gani S. Genetic algorithm for traveling salesman problem with modified cycle crossover operator. Computational Intelligence and Neuroscience 2017; 2017(1): 7430125.
- Karaboga D., Gorkemli B. Solving traveling salesman problem by using combinatorial artificial bee colony algorithms. International Journal on Artificial Intelligence Tools 2019; 28(1): 1950004.
- Karagül K. Prüfer-karagül algoritması: gezgin satıcı problemi için yeni bir yaklaşım. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2019; 6(2): 452–470.
- Karagül K. Gezgin satıcı problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı: TPORT. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2019; 21(63): 819–832.

- Khan I., Maiti MK. A swap sequence based artificial bee colony algorithm for traveling salesman problem. *Swarm and Evolutionary Computation* 2019; 44(1): 428–438.
- Khan I., Pal S., Maiti MK. A modified particle swarm optimization algorithm for solving traveling salesman problem with imprecise cost matrix. 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), 15-17 Mart 2018, New York, ABD.
- Liao E., Liu C. A hierarchical algorithm based on density peaks clustering and ant colony optimization for traveling salesman problem. *IEEE Access* 2018; 6(1): 38921–38933.
- Little JDC., Murty KG., Sweeney DW., Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research* 1963; 11(6): 972–989.
- Moon C., Kim J., Choi G., Seo Y. An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedence constraints. *European Journal of Operational Research* 2002; 140(3): 606–617.
- Nuriyeva F., Kizilateş G. Gezgin satıcı problemi için merkezden kenarlara hipersezgisel yöntem. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2016; 20(2): 319-323.
- Osaba E., Ser JD., Sadollah A., Bilbao MN., Camacho D. A discrete water cycle algorithm for solving the symmetric and asymmetric traveling salesman problem. *Applied Soft Computing* 2018; 71(1): 277–290.
- Özkır ÇV., Topçu B. Application of the random key based electromagnetism-like heuristic for solving travelling salesman problems. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 2018; 24(1): 76–82.
- Pamosoaji AK., Setyohadi DB. Novel graph model for solving collision-free multiple-vehicle traveling salesman problem using ant colony optimization. *Algorithms* 2020; 13(6): 153-172.
- Pandiri V., Singh A. An artificial bee colony algorithm with variable degree of perturbation for the generalized covering traveling salesman problem. *Applied Soft Computing* 2019; 78(1): 481–495.
- Pulat M., Kocakoç İD. Gezgin satıcı probleminin çözümünde kullanılan genetik algoritmanın parametrelerinin incelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* 2017; 19(1): 21–36.
- Pulat M., Kocakoç İD. Gezgin satıcı probleminin genetik algoritmalar kullanarak çözümünde çaprazlama operatörlerinin örnek olaylar bazlı incelenmesi. *İzmir İktisat Dergisi* 2019; 34(2): 225–243.
- Rokbani N., Kumar R., Abraham A., Alimi AM., Long HV., Priyadarshini I. Bi-heuristic ant colony optimization-based approaches for traveling salesman problem. *Soft Computing* 2020; 25(5): 1–20.
- Şahin Y. Sezgisel ve metasezgisel yöntemlerin gezgin satıcı problemi çözüm performanslarının kıyaslanması. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2019; 19(4): 911–932.

- Şahin Y., Karagül K. Gezin satıcı probleminin melez akışkan genetik algoritma (MAGA) kullanarak çözümü. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 25(1): 106–114.
- Sharma S., Jain V. A novel approach for solving tsp problem using genetic algorithm problem. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021; 1116(1): 012194.
- Tüker M., Ballı S., Pembeci İ. Çok etmenli sistemlerde netlogo ile karınca kolonisi optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2013; 19(2): 88–96.
- Wang K. P., Huang L., Zhou CG., Pang W. Particle swarm optimization for traveling salesman problem. International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 27-28 Haziran 2022, Toyama, Japonya.
- Wang Y., Xu N. A hybrid particle swarm optimization method for traveling salesman problem. International Journal of Applied Metaheuristic Computing 2017; 8(3): 53–65.
- Whitley D. A genetic algorithm tutorial. Statistics and Computing 1994; 4(2): 65–85.
- Yildirim T., Kalayci CB., Mutlu Ö. Gezin satıcı problemi için yeni bir meta-sezgisel: kör fare algoritması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2016; 22(1): 64–70.
- Zhong Y., Lin J., Wang L., Zhang H. Hybrid discrete artificial bee colony algorithm with threshold acceptance criterion for traveling salesman problem. Information Sciences 2017; 421(1): 70–84.
- Zhong Y., Lin J., Wang L., Zhang H. Discrete comprehensive learning particle swarm optimization algorithm with metropolis acceptance criterion for traveling salesman problem. Swarm and Evolutionary Computation 2018; 42(1): 77–88.

Orkide Yumru Ontogenisi

Mehmet AYBEKE^{1*}

¹Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Balkan Yerleşkesi, 22100, Merkez, Edirne

¹<https://orcid.org/0000-0001-9512-5313>

*Sorumlu yazar: mehmetaybeke@trakya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.01.2022

Kabul tarihi: 01.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Orkide

Himantoglossum

Stolon

Yumru

Anatomi

Ontogeni

ÖZ

Orkide yumruları (tuber) tarımsal üretimde gün geçtikçe değerlendirilmekte olup, ayrıca tıbbi drog önemine sahiptir. Ekonomik değerde olan bu yumrularla ilgili ontogenik bir araştırma bulunmamıştır. Bu nedenle; çalışmada orkide yumru ontogenisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Materyal olarak *Himantoglossum robertianum* stolonlarından Historesin kiti ile gömme preparatlardan mikrotom kesitleri alınmış ve Toluidin Blue ile boyanmıştır. Sonuçlara göre; yumrunun alt tarafında statosit hücreleri ve kaliptranın olduğu ve yeni gelişecek olan yumrunun tüm yüzeyinin meristematik hücrelerle çevrili olduğu tespit edilmiştir. Yumrunun alt tarafındaki mersitemlerden ileride meristele, müsilaaj ve nişasta hücreleri farklılaşırken, yumrunun yanıl meristemlerinden ise sadece müsilaaj ve nişastalı hücreler gelişmektedir. Yumrunun alttan yukarıya doğru hücrelerinde farklılaşma ile birlikte büyüdüğü ve aralarında meristeleler ile topaç şeklinde bir yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca floemden sakkaroz yüklemesi ile birlikte bu dönemde organın, depo organı haline geçişinde hızlanma olmuştur. Olgun yumruda dışarıdan itibaren birkaç sıralı ezik velamen, bir sıra ekzodermis, geniş bir depo parankimasi (müsilaaj hücreleri ve aralarında nişastalı hücreler) ve yer yer meristele görülmüştür.

Orchid Tuber Ontogeny

Research Article

Article History:

Received: 21.01.2022

Accepted: 01.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Orchid

Himantoglossum

Stolon

Tuber

Anatomy

Ontogeny

ABSTRACT

Orchid tubers are getting value day by day in agricultural production, and also a medicinal drug is important. No ontogenic research has been found on these tubers of economic value. Therefore, in this study, it was aimed to examine the orchid tuber ontogeny. As material, microtome sections were taken from the embedding preparations with Historesin kit from *Himantoglossum robertianum* stolons and stained with Toluidin Blue. According to the results, It was determined that there are statocyte cells and calyptra on the underside of the tuber and that the entire surface of the newly developed tuber is surrounded by meristemetic cells. While the meristems on the underside of the tuber differentiate into meristeles, mucilage and starch cells in the future, only mucilage and starchy cells develop from the lateral meristems of the tuber. It has been determined that the tuber grows from the bottom up with the differentiation in its cells and turns into a whipping top-shaped structure with meristeles between them. In addition, with the sucrose loading from phloem, there was an acceleration in the transition of the organ to the storage organ in this period. In the mature tuber, several rows of flat velamen, a row of exodermis, a large storage parenchyma (mucilage cells and starchy cells between them) and a meristem are seen from the outside.

To Cite: Aybeke M. Orkide Yumru Ontogenisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 197-207.

1. Giriş

Bitkilerin en büyük ailesi olarak kabul edilen Orchidaceae, 25.000–35.000 türden oluşur (Attri ve ark., 2020). Orkidelerde vegetatif veya floral anatomi konularında sayısız çalışma mevcuttur. Türkiye ve yakın coğrafyadaki orkideler karasal özelliktedir ve bu orkideler üzerinde değişik anatomik çalışma yapılmıştır. Örneğin Kasaplıgil (1961), Orta Anadolu'dan topladığı *Orchis mascula* yaprak örnekleri ile İtalya'daki aynı taksona ait örnekleri anatomik olarak karşılaştırmış ve yapraklarda epidermis, stoma ve mezofil dokularında önemli bulguları tespit etmiştir. Özellikle Stern (1997), karasal orkidelerde anatomik ve taksonomik ekseninde önemli bulgulara ulaşmıştır. Araştırmacı çalışmasında, değişik Akdeniz ülkelerinden elde ettiği orkideleri (*Ophrys*, *Orchis*, *Platanthera*, *Serapias*, *Aceras*, *Anacamptis*, *Barlia*, *Dactylorhiza* taksonları) yaprak, kök ve yumru anatomisine göre incelemiştir. Prete & Miceli (1999), *Orchis mascula* ve *O.provincialis* gruplarının taksonomik ve sistematik problemlerini, yaprak ve gövde anatomisi ile çözümlenmişlerdir. Bir başka çalışmada; Aybeke ve ark., (2010) 27 farklı *Ophrys*, *Orchis*, *Dactylorhiza* taksonunda kök, gövde, yaprak, yumru anatomisini ayrıntılı olarak incelemiş ve taksonların tanımlayıcı ve diagnostik anatomik karakterlerini ortaya koymuşlardır. Yine Aybeke (2012), 13 farklı tuberli / rizomlu taksonda (*Cephalanthera*, *Epipactis*, *Limodorum*, *Spiranthes*, *Platanthera*, *Serapias*, *Himantoglossum*, *Anacamptis*) detaylı anatomik karakterlerle taksonların tuber veya rizoma bağlı olarak anatomik tablo anahtarlarını oluşturmuştur. Farklı bir çalışmada Aybeke (2017), Türkiye'de bulunan orkide alt familyaları, (karasal Orchidoideae, Epidendroideae) trake özelliklerine göre taksonomik ayırımını sağlamıştır. Bir başka çalışmada Süngü Şeker ve ark., (2021) bazı orkide taksonlarında (*Cephalanthera*, *Coeloglossum*, *Dactylorhiza*, *Gymnadenia*, *Himantoglossum*, *Limodorum*, *Orchis*, *Platanthera*, *Serapias*, *Spiranthes*, *Stevieniella* spp) damar morfometrisi ve topolojisi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kolcu (2014) tarafından yapılan bir yüksek lisans tezinde Ordu ilinde yayılış gösteren bazı *Cephalanthera* taksonlarının kök, gövde ve yaprak anatomileri incelenmiş ve ayırt edici anatomik karakterleri tespit edilmiştir. Akbulut ve ark., (2017), farklı ekolojik koşullardaki *Spiranthes* örneklerinde yaprak stoma boyut ve özelliklerindeki farklılıkları, buldukları ortam özelliklerine göre değerlendirmişlerdir. Öztürk (2020), Eskişehir ilinde yayılış gösteren *Orchis simia* örneklerinde anatomik özellikleri incelemiştir. Bir başka çalışmada *Stevieniella satyrioides*'in detaylı anatomik özellikleri tespit edilmiştir (Akbulut ve ark., 2019).

Karasal orkidelerde tuber (yumru) anatomisi ile yapılan çalışmalar oldukça azdır (Stern, 1997; Aybeke ve ark., 2010; Aybeke, 2012). Orchidoideae subfamilyası Orchideae tribusuna ait karasal orkide tuber çalışmalarında dıştan genellikle 1–5-tabakalı velamen, altında genelde tek sıralı ekzodermis, tilosom ve pasaj hücreleri ve temel dokuda rafid idioblastları, meristele iletim demeti etrafında yoğunlaşmış müsilaj hücreleri ve nişasta içeren hücreler tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca 27 Orkide taksonunda (*Ophrys*, *Orchis*, *Dactylorhiza* spp) meristelar ark düzeni tespit edilmiş ve anatomik verilerden kladistik analiz yapılmıştır. (Aybeke ve ark., 2010). Ayrıca nişasta tanelerinin, müsilaj

hücrelerinin şekillerinin ve meristele tiplerinin taksonlar arasında primer tanımlayıcı karakter olduğu belirtilmiştir (Aybeke ve ark., 2010). Bir başka çalışmada *Spiranthes*, *Platanthera*, *Serapias*, *Himantoglossum* ve *Anacamptis* taksonlarının tuber anatomisi ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçta velamen tabaka düzeni, temel dokuda müsülaj hücre çeper şekilleri ve vasküler demet ark düzenlerinin taksonlar arasında ayırt edici olduğu belirtilmiştir (Aybeke, 2012).

Orkide tuberlerinden salep adı verilen içecek elde edilmektedir ve salep, Türkiye, Orta Doğu ülkeleri ve Güneydoğu Avrupa'da sevilerek tüketilen bir içecektir. Salebin en önemli bileşeni glukomannan olup, bileşiminin %16-55'ini oluşturmaktadır (Sezik, 1984). Yukarıda geniş yelpazede verilen anatomik ve tuber çalışmalarına rağmen tuber ontogenisinin hiç araştırılmadığı literatür analizlerinde ortaya çıkmıştır. Çünkü orkide tuberi, ekonomik ve tıbbi drog olarak oldukça önemlidir (Salep Eylem Planı, 2014). Tuber ontogenisinin detaylı tespiti, tuber biyolojisini daha iyi anlaşılmasını ve tarla koşullarında ekimi yapılan bu bitkiden daha fazla verim elde edilmesini sağlayacağı gibi yumrulu türlerin neslinin tükenmesini de engellemiş olacaktır. Dolayısıyla çalışmanın amacı; orkide tuber ontogenisinin yani gelişim anatomisinin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

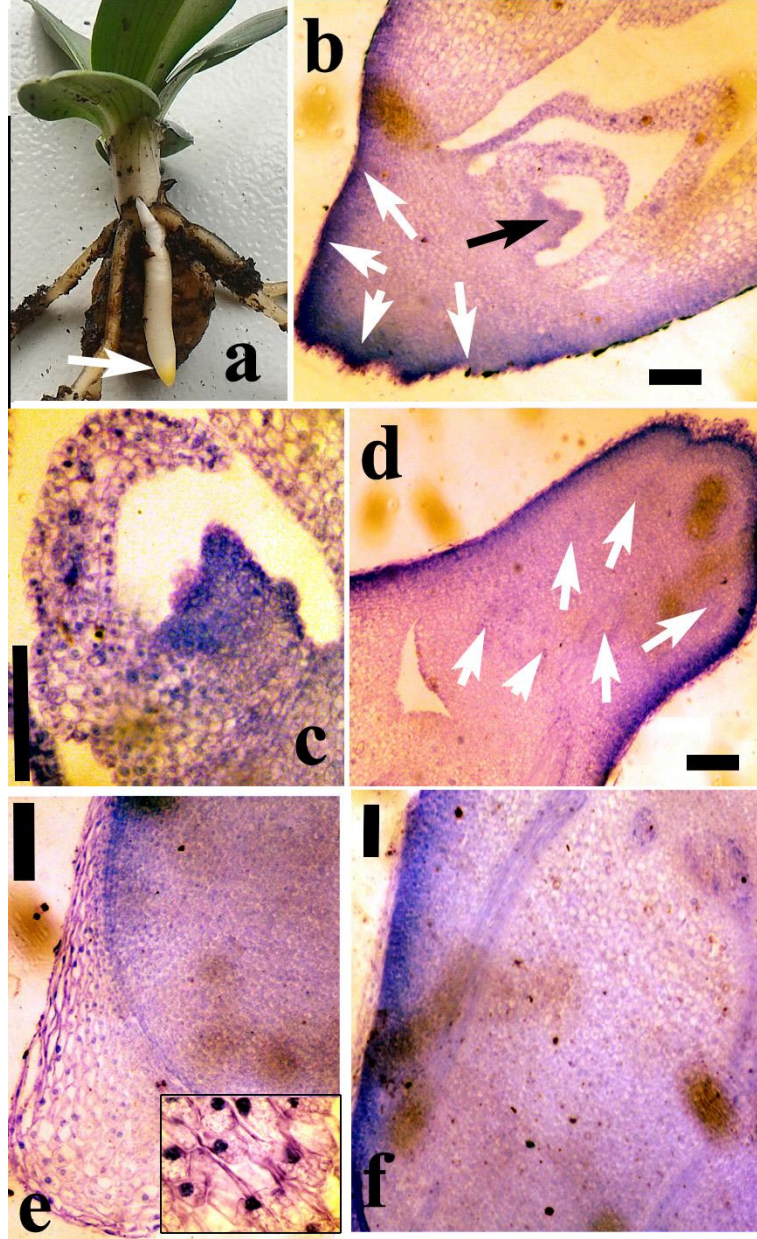
Çalışmada *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P.Delforge (Orchidaceae)'nin araziden toplanan örnekleri, bir sonraki yıl saksıda ekilerek yumru gelişmeleri takip edilmiştir.

Örnekler, saksıdan çıkarılma sonrasında Carnoy fiksarifinde (3: alkol %96, 1:glasial asetik asit) ile fikse edilip sonrasında önce %96 alkol ile yıkanıp, %70 alkolde saklanmıştır. Materyal sırayla 1'er gece alkol serilerinde (%70, %80, %90, %96, absolu alkol) geçirildikten sonra 1:1 absolu-alkol: resin - aktivatör karışımında 1 gece bekletildi. Sonrasında saf resin aktivatör karışımında en az 1 gece bekletilip doğrudan özel Merck gömme kalıplarında saf basic resin aktivatör-hardener karışımında gömülmüştür. Kesitler, 5µ kalınlığında LEICA Tungsten carbide mikrotom bıçağı ile Leica RM 2235 mikrotom ile kesilmiştir. Kesitler O'Brien ve ark., (1964) metoduna göre Toluidin Blue ile boyanmıştır. Bir kısım kesitler, nişasta tayini için lugolle boyanmıştır. Tüm kesitler, alkol ve ksilol serilerinden geçirilip, entellan ile daimi hale getirilmiştir. Fotoğraflar, Olympus CX-21 bilgisayar uyumlu Fotomikroskop ile çekilmiştir.

3. Bulgular

Yeni gelişecek olan yumru, stolonun uç tarafından gelişir (Şekil 1a). Bu yumrunun boyuna kesitte yoğun farklılaşmamış bir doku vardır ve etrafı tamamıyla meristematik hücrelerle çevrilidir (Şekil 1b). Üst apikal kısmında meristematik faaliyetlerle yeni yaprak sürgünleri oluşmaktadır (Şekil 1b-c). Yumruda bu mersitemlerin faaliyetiyle beraber hacim artışı ve boyca uzama görülür ve bununla beraber parankima hücrelerinde farklılaşma ve meristele tipi iletim demetleri görülmeye başlar (Şekil 1d). Üst apikal bölgeye doğru vakuol oluşumu ile hücrelerde genişleme başlar böylece yumru küçük

ters konik şekle dönüşür (Şekil 1d,f). Yumrunun alt tarafında, apikal meristem etrafında kaliptra bölgesi ve statosit nişastaları görülmektedir (Şekil 1e). Aynı zamanda apikal bölgeye doğru meristeler birbirine yaklaşmakta ve meristeler arasında yanıl bağlantılar dikkat çekmektedir (Şekil 1f, 2e).



Şekil 1. a. Stolon ucundan yeni gelişecek olan yumru (ok), b. yumrunun boyuna kesitinde apikal meristem (siyah ok) ve stolon ucu etrafındaki meristematik bölgeler (beyaz ok), c. apikal meristemin büyütülmüşü, d. uzayan yumruda meristeme farklılaşması (ok), e. Statosit nişastalı bölge uçta ve büyütülmüş resimde statosit hücreleri, f. apikal bölgeye doğru hücrelerde vakuolleşme ve meristelerin birbirine doğru yaklaşması. Ölçek. b,d,f: 160 π , c: 50 π , e: 100 π

Meristematik faaliyetler ve vakuolleşen hücrelere ilaveten yeni meristelelerin oluşumu ile yumru şişkinleşmeye başlar (Şekil 2a). Yumrunun üst apikale doğru farklılaşma ile birlikte ilkin müsilaj hücreleri ve yanlara doğru rafid kristalleri dikkat çeker (Şekil 2b-c). Alt apikal ve yumru yan taraflarındaki bu gelişmelere ilaveten, üst apikalden doku içinde yarılmının oluşması ve bu yarığın gittikçe yana doğru büyümesiyle yeni yanal sürgünler oluşmaktadır (Şekil 2d-e). Yumrunun yan tarafındaki dermatogenden oluşan meristematik hücrelerin bazıları, yeni gelişenlerin baskısıyla yumrunun eksenine doğru kayarken bazıları da vakuolleşerek farklılaşmaya geçmektedir (Şekil 2f, 3a).

Meristemlerden gelişen ve yumru içine doğru kayan hücreler yeni mitotik bölünelere girerken, bazı hücrelerde vakuol oluşumu ile farklılaşır (Şekil 3a). Yeni hücrelerle boyut artmaktadır (Şekil 3b). Bu boyut artışında alt apikal meristemden kaynaklanan meristematik hücre grupları ön plandadır. Bu hücreler sonra meristele olarak farklılaşacaktır (Şekil 3d-e). Alt apikal meristemde antiklinal bölünme, meristele farklılaşması sırasında ise antiklinal veya periklinal bölünmeler olmaktadır (Şekil 3f). Yumrunun en şişkin halinde ise tüm yumru alt ve yanal kısımlarda meristem sınırları belirgin halde olup, meristele başlangıçları daha fazla sayıdadır ve yumru alt ucu belirgin yuvarlak uçludur (Şekil 3g).

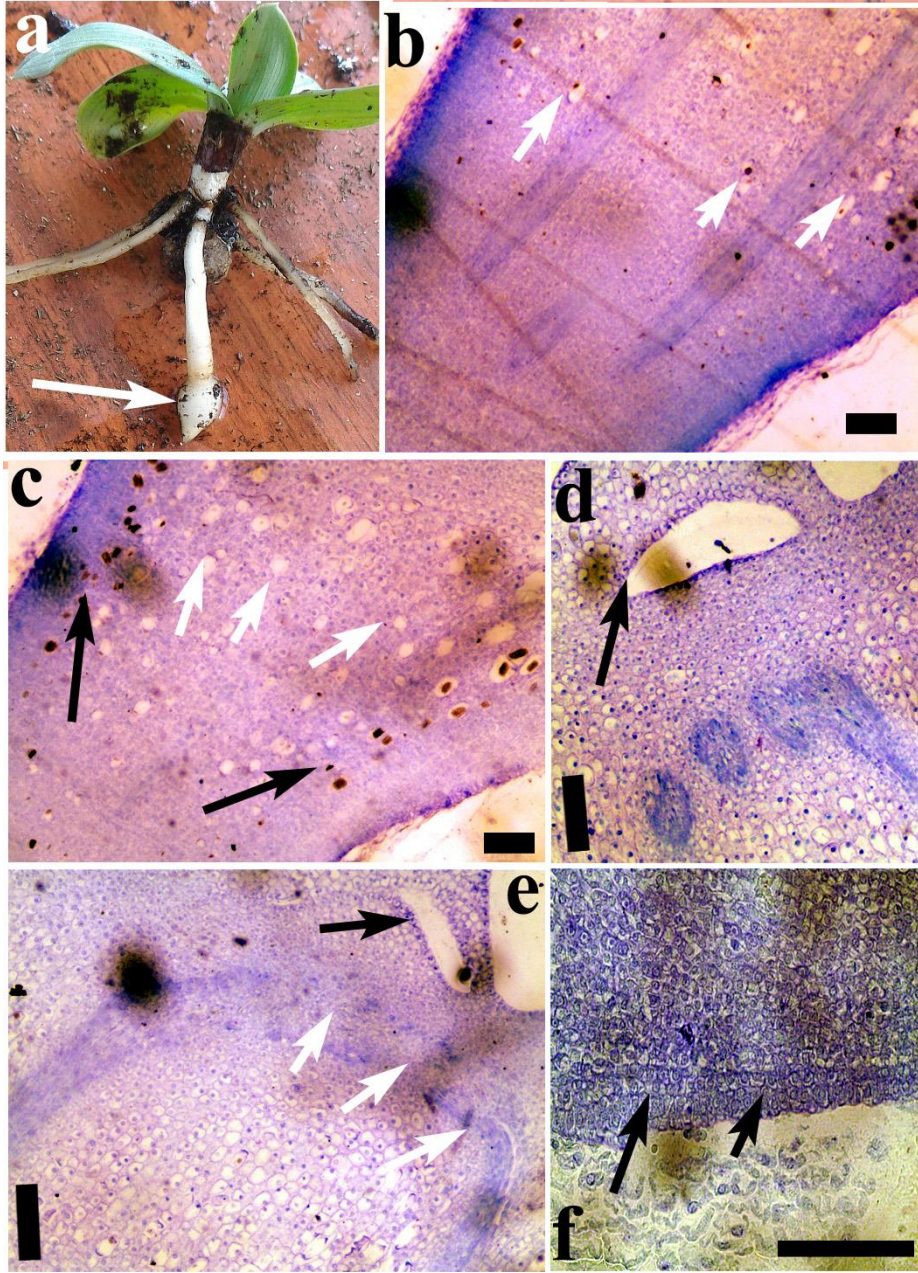
Yumrunun alt tarafına yakın yanal meristemde aynı şekilde olgun dönemde artık sınırlar belirgindir, temel dokuda vakuolleşen hücreler çok sayıdadır (Şekil 4a). Yumrunun alt tarafından yukarıya doğru geçişte farklılaşma ile birlikte velamen farklılaşır ve bu süreçte velamen hücrelerinde süberin birikimi olur (Şekil 4b). Müsilaj hücrelerinde nukleus kenara doğru yassılaşmış olup, hücrenin lümeni oldukça genişlemiştir (Şekil 4c). Olgun yumru dış tabakalarını ezilmiş birkaç sıralı velamen ve altında 1 sıra nispeten daha düzenli ekzodermis (Şekil 4d), iç kısımlarda ise müsilaj hücreleri ile yanında nişasta biriktiren hücreler görülür (Şekil 4e-f). Meristele iletim demeti, yumrunun ilk haline göre oldukça fazla sayıdadır etrafında kaspari şeridli endodermis bulunur (Şekil 4g-h).

4. Tartışma

Sonuçlara göre yumrunun ontogenisinin şu şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir:

Yumrunun, stolon dip kısmından oluşumunda, meristemlerin dağılımının çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Yumrunun, etrafı tamamıyla meristematik doku ile çevrili bir parankima dokusu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1b). Meristemler, antiklinal bölünmelerle tüm yumru çevresini sarmıştır. İçeriye doğru periklinal bölünmelerle ise hem meristematik hücreleri ve bunların arasında ileride vakuol artışı ile farklılaşacak hücre gruplarını oluşturmuştur. Bu hücre gruplarındaki meristematik hücrelerin, sonradan ilave periklinal ve antiklinal bölünmeleri ile ileride yeni meristele oluşumları sağlanmıştır. Hücre gruplarındaki normal hücreler (meristem olmayan) ileride vakuol artışı ile müsilaj hücrelerini veya nişasta hücrelerini oluşturmuştur. Dolayısıyla, meristemlerden yeni hücre gruplarının

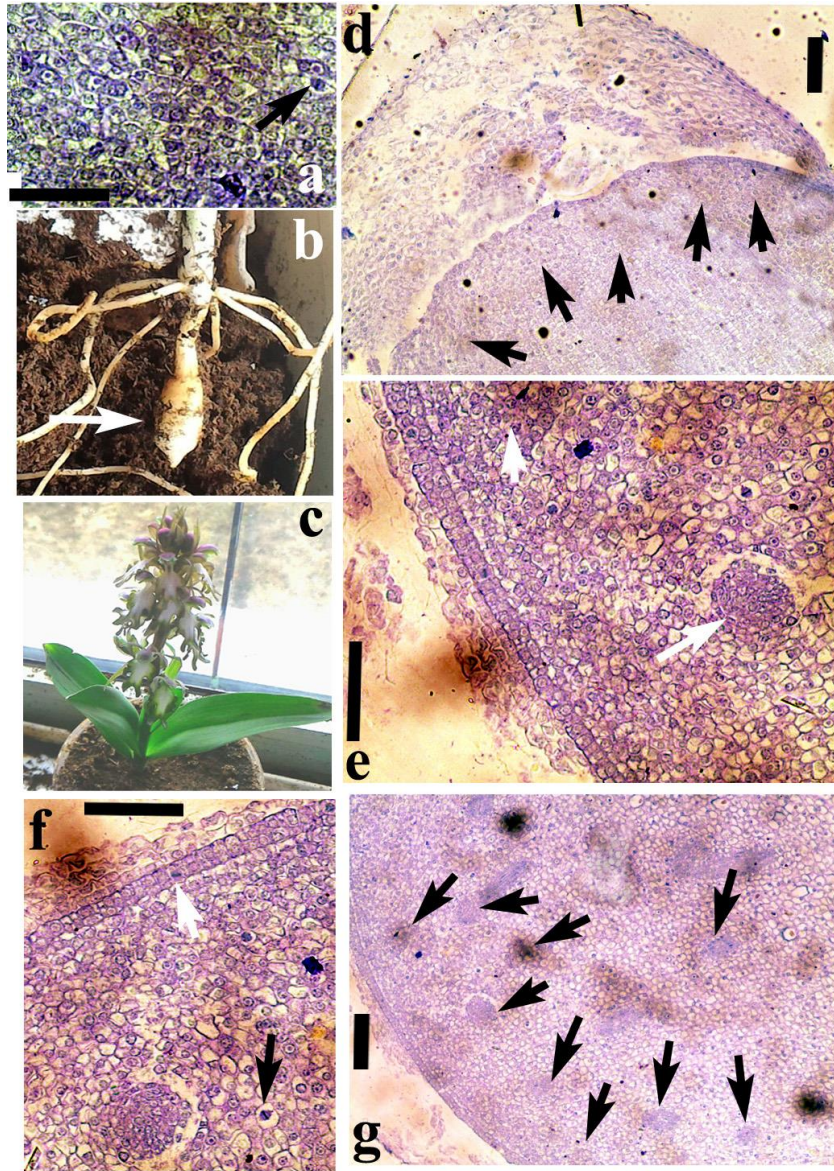
oluşumu, bu hücre gruplarında sonradan bölünmelerle yeni hücrelerin ve meristele iletim demetlerinin gelişmesi, buna ilaveten yumrunun üst tarafına doğru artan hücre sayısı ve hücrelerde hacimsel büyüme / farklılaşma sonucunda yumrunun hacim olarak gelişmesi sağlanmıştır.



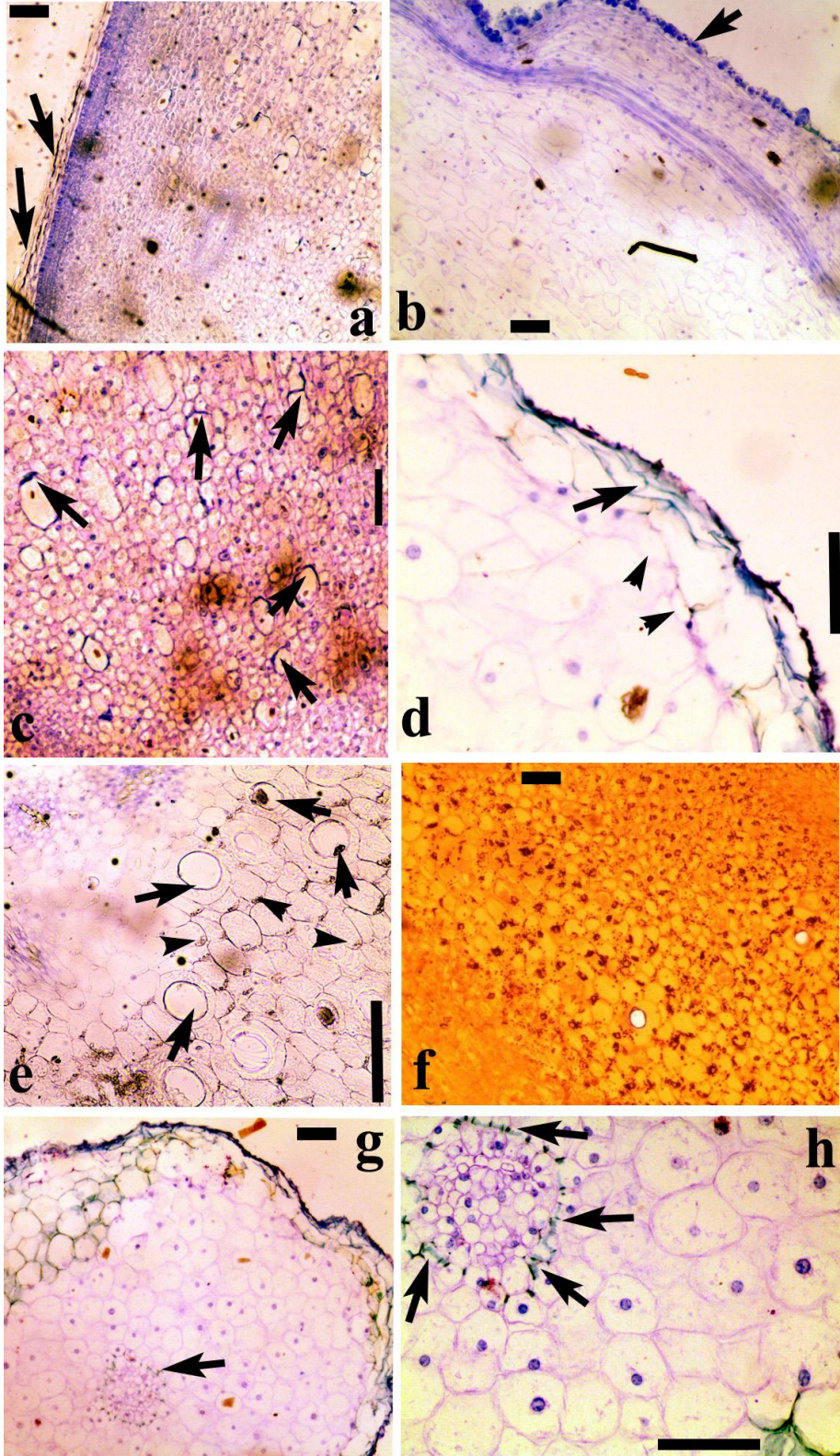
Şekil 2. a. Yeni gelişen yumru şişkin halde (ok), b-c. Yumrunun üst tarafında önce müsilaj hücreleri (beyaz ok) ve rafidler (siyah ok) farklılaşır; rafidler, yumrunun yanlarına doğru yer alır, d. apikal mersitemden yarılma ile (ok) oluşan yanal sürgün, e. apikalden yarılmanın yeni başlangıcı (siyah ok) ve meristeleler arasındaki bağlantılar (beyaz ok), f. Dermatogen'de (ok) meristematik özellikli hücreler ve bazıları ise vakuolleşip farklılaşmakta. Ölçek: b,c: 160 μ m, d,e: 100 μ m, f: 50 μ m

Burada mersitemlerden oluşan hücre gruplarının miktarı / yoğunluğu, meristele oluşumunda birinci derecede kilit rol oynamıştır. Bizim düşüncemize göre; meristele oluşumunda ikinci kilit rol, depo karbonhidratların (müsilaj= glukomannan ve nişasta) fotosentez organlarından yumruya doğru akış

miktardır (Lemoine ve ark., 2013). Dolayısıyla meristematik faaliyet yoğunluğu, hücre gruplarının artışı ve yumruya karbonhidrat yükleme hızı, birbirlerini tetikleyen etkiler olmuştur. Bu düşüncemizi doğrulayan sonuç, yumruda olgun fazda meristem sınırlarının belirginleşmesi ve oluşan hücre gruplarının azalmasıdır. Azalan meristematik faaliyet, meristem sınırlarının, farklılaşan hücrelerden keskin bir şekilde ayırımı sağlamıştır. Fotosentez organlardan tekrar yüksek karbonhidrat akışı, ya meristemlerden yeniden hücre gruplarının oluşumunu ve ilave meristeme oluşumunu artıracaktır ya da yumru hücreleri tamamıyla depo karbonhidratla dolu ise o takdirde yeni stolon ulaşımını uyaracaktır. Zira son yıllarda tarımsal üretimde birden çok yumrulu orkide elde edilmektedir.



Şekil 3. a. Dermatogenden gelişen meristematik hücrelerden bazıları bölünmekte (ok) bazıları da vakuolleşerek farklılaşmakta, **b.** Yumru olgun fazda (ok), **c.** bitkinin çiçekli hali, **d-e.** alt apikal meristemden gelişen meristematik hücre grupları (siyah ok) ve bu hücrelerden meristeme farklılaşması (beyaz ok). **f.** Apikal alt meristemde antiklinal bölünme metafaz (beyaz ok) ve gelişen hücre gruplarında periklinal bölünme metafaz (siyah ok), **g.** olgunlaşmış yumruda alt apikal meristem sınırı ve meristeme başlangıçları (ok). **Ölçek:** a,e,f: 160 μ m, d,g:100 μ m



Şekil 4. a. olgunlaşmış yumru yan taraflarında dermatogen tabakası ve dışında kaliptra uzantısı (ok), b. farklılaşma sürecinde velamen tabakasında süberin birikimi (ok) ve boyuna kesitte olgun bir meristele, c. müsilağ hücrelerinde nukleus oldukça yassı (ok), d. Olgun yumruda dış tabakalar velamen (beyaz ok) ve altında ekzodermis (okbaşı), e. müsilağ hücreleri (ok) ve yanlarında nişastalı hücreler (okbaşı), f. nişastalı hücreler (lügolle boyalı), g. Olgun yumru genel görünümde ve bir meristele (ok), h. Meristele büyütülmüşü (kasparyi şeridi, okla gösterilmekte).
Ölçek: a,b,f,g: 160 π , c: 100 π , d,e,g,h: 50 π

Sonuçlarda; yumru üst apikal meristem altında meristeleler arasında yanıl bağlantılar dikkat çekmiştir (Şekil 1f, 2e). Bu ilerde yeni gelişecek yapraklara ve sürgünlere iletim demeti bağlantılarını sağladığı düşünülmektedir. Diğer bir önemli husus; müsilaj hücrelerinin, yumrunun üst apikale doğru çıktıkça nişasta hücrelerinden daha evvel farklılaştığı ve nişastalı hücelere göre daha büyük olduğudur (Şekil 2b-c). Bu hususun, ileride glukomannan ve nişasta yolaklarının zamansal işleyişinin qPCR denemelerinde teyit edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, müsilaj hücreleri önceleri nukleusludur ve vakuolleri, zamanla daha da genişleyerek nukleusu çepere doğru daha da yassılaştırır ve bu hale gelen hücre nukleusunu kaybeder ve sonuçta müsilaj hücrelerinin idioblasta dönüştüğü tespit edilmiştir. Hatta hücrenin genişleme ile beraber, çeperinin kalınlaştığı da görülmektedir (Şekil 4c,e).

Yumrunun şişkinleşmesi sürecinde müsilajın hücelerde birikimi ile beraber özellikle dış bölgelerde rafid idioblastları birikimi de artmaktadır; rafidlerin, yumruyu hayvan saldırılarına karşı koruduğu düşünülmektedir (Akbulut ve ark., 2016).

Kaynak araştırmalarımızda yumru ontogenisi ile ilgili olarak çok az sayıda bilgiye rastlanmıştır: *Dioscorea alata*'da iç kortikal bölgedeki hücrelerin yeniden meristem olması ile gelişme başladığı belirtilmiştir ve yeni kökün iletim demetlerinin, depo parankiması arasından ana gövde iletim demetlerine bağlantılı olduğu belirtilmiştir (Wickham ve ark., 1981). Bu sonuçlar, bizdeki hücre grupları ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca yumru üst apikalde meristelelerin birbirine doğru yaklaşması ve teması, ileride gelişecek olan sürgünlere demetlerin bağlantısı için önemli olmaktadır. Dolayısıyla sonuçlar ve yukarıdaki değerlendirmelerimiz, kısmen desteklenmiştir. Bir başka çalışmada stolonun büyüme eksenine dik yönde ortaya çıktığı ve stolon büyümesinin, yumru başladıktan sonra durduğu belirtilmiştir. (Aksenova ve ark., 2012). Bizim çalışmamızda da stolonda bir büyüme olmayıp, stolonun dip kısmının yumruya dönüştüğü bulgularla tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmaya göre; stolonun yumruya dönüşümünde sub-apikal medüller bölgedeki hücre bölünme düzleminin lateralden longitudinal geçmesi ile olduğu belirtilmiştir (Xu ve ark., 1998). Bizim bulgularımıza göre; stolonun yumruya dönüşecek olan en dip tarafında meristele yapısındaki yeni oluşan demetler genişlemeyi sağlamaktadır. Her bir meristele, alttan yukarıya kadar kesintisiz devam ederek asimilatların hareketini ve depolanmasını hızlandırmakta ve genişlemeyi artırmaktadır. Zira meristeleler etrafında nişasta ve müsilaj hücreleri farklılaşmaktadır.

İlerideki çalışmalarda; floeme sakaroz yüklemesi ve floem iletimi ile ilgili genlerin, meristemlerle ilgili genlerin, meristele iletim demetleri (ksilem, floem) oluşumu, meristele sayısı artışı ve yumru oluşumunda çok önemli olan bazı kilit genlerin, söz konusu tuber ontogeni sürecinde aktivitelerinin ayrıntılı olarak tespit edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca Stern (1997)'de, yumru meristele iletim demet düzenini gelişimsel olarak irdelenmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu noktalarda yapılacak çalışmalarla yumru biyolojisi, hem genetik olarak ve hem de anatomik eksende aydınlatılmış olacaktır. Elbette elde edilecek bu yeni bilgilerle, salep eylem planı (2014) hedefleri doğrultusunda tarla tarımında ekonomik verim artışına dair yeni stratejik hedeflerin belirlenmesi sağlanacak ve salep için doğadan orkide sökümü ve neslinin tükenme tehlikesi ortadan kaldırılacaktır.

5.Sonuçlar

Yumru, stolonun dip kısmından gelişmektedir. Yumrunun tüm yüzeyi meristematik hücrelerle çevrilidir. Alt apikal meristemden oluşan hücre grupları, ileride meristele, müsilaj veya nişasta hücreleri olarak farklılaşacaktır. Yumrunun yanal meristemlerinden de sadece müsilaj ve nişastalı hücreler farklılaşmaktadır. Yumruda alttan yukarıya doğru hücrelerde dereceli olarak bir hacim artışı görülmektedir. Bununla beraber aynı zamanda meristele artışı gerçekleşerek yumrunun topaç şeklinde hacimsel değişimi görülmektedir. Ayrıca yumru genişlemesinde floemden sakkaroz yüklemesinin de etkili olduğu saptanmıştır. Yumrunun üst apikal meristeme yakın kısımlarında meristele şeklindeki iletim demet yapıları, birbirine doğru yaklaşmakta ve aralarında yanal bağlantılar oluşmaktadır. Olgun yumruda dışarıdan itibaren; birkaç sıralı ezik velamen, bir sıra ekzodermis, geniş bir depo parankiması (müsilaj hücreleri ve aralarında nişastalı hücreler) ve yer yer meristele görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “TÜBAP 2020-94” kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm çalışma, yazarın kendi özgün araştırması olup, herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarın kendi özgün çalışmasıdır.

Kaynaklar

- Akbulut MK., Süngü Şeker Ş., Şenel G., Ergen Akçin Ö. Farklı büyüme dönemlerinde *tradescantia pallida* türünün yapraklarında bulunan kalsiyum okzalat (CaOx) kristalleri üzerine bir araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2016; 16(011001): 1-5.
- Akbulut MK., Süngü Şeker Ş., Şenel G. Farklı ekolojik koşullarda yetişen *spiranthes spiralis*'in (orchidaceae) yaprak stoma özellikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2017; 17, 372-376.
- Akbulut MK., Süngü Şeker Ş. & Şenel G. Monotipik *Steveniella satyrioides* türünün anatomik morfolojik ve mikromorfolojik özellikleri. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 2019; 6(2): 573-584.
- Aksenova NP., Konstantinova TN., Golyanovskaya SA., Sergeeva LI., Romanov GA. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology* 2012; 59(4): 451-466.
- Attri LK., Bhanwra RK., Nayyar H. Pollination induced embryology studies in *Aerides multiflora* (ROXB.). *International Journal of Botanical Studies* 2020; 5(4): 211-215.

- Aybeke M., Sezik E., Olgun G. Vegetative anatomy of some *Ophrys*, *Orchis* and *Dactylorhiza* (Orchidaceae) taxa in Trakya region of Turkey. *Flora* 2010; 205(2): 73-89.
- Aybeke M. Comparative anatomy of selected rhizomatous and tuberous taxa of subfamilies Orchidoideae and Epidendroideae (Orchidaceae) as an aid to identification. *Plant Systematic and Evolution* 2012; 298(9): 1643–1658.
- Aybeke M. Vessel anatomy studies in orchids (Orchidaceae). *Acta Biologica Turcica* 2017; 30(4): 89-93.
- Kasaplıgil B. Foliar xeromorphy of certain geophytic monocotyledons. *Madrono* 1961; 16: 43-70.
- Kolcu SS. Ordu yöresinde yayılış gösteren bazı *Cephalanthera L.C.M. Richard* (Orchidaceae) türleri üzerinde morfolojik, mikromorfolojik ve anatomik bir araştırma. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, Ordu, Türkiye, 2014.
- Lemoine R., LaCamera S., Atanassova R., Dédaldéchamp F., Allario T., Pourtau N., Bonnemain JL., Laloï M., Coutos-Thévenot P., Maurousset L., Faucher M., Girousse C., Lemonnier P., Parrilla J., Durand M. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science* 2013; 4: 272.
- O'Brien TP., Feder N., McCully ME. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma* 1964; 59: 368–373.
- Öztürk D. Morphological, anatomical and ecological studies on *Orchis simia* (Orchidaceae) taxon of Eskişehir, Turkey. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences* 2020; 3(2): 110-115.
- Prete CD., Miceli P. Histoanatomical and taxonomical observations on some Central Mediterranean entities of *Orchis* sect. *Labellotrilobatae* P.Vermeul. subsections *Masculae* Newski and *Provinciales* Newski (Orchidee). *Caesiana* 1999; 4(12): 21-44.
- Salep Eylem Planı 2014-2018. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü. <https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Salep%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf>. 2014.
- Sezik E. *Orkidelerimiz, Türkiye'nin Orkideleri*. İstanbul: Sandoz Kültür Yayınları, No: 6, 1984.
- Stern WL. Vegetative anatomy of subtribe *Orchidinae* (Orchidaceae). *Botanical Journal of Linnean Society* 1997; 124: 121-136.
- Süngü Şeker Ş., Şenel G., Akbulut MK. Comparative vascular anatomies of some orchid species. *Anatolian Journal of Botany* 2021; 5(2): 84-90.
- Wickham LD., Wilson LA., Passam HC. Tuber germination and early growth in four edible dioscorea species. *Annals of Botany* 1981; 47(1): 87-95.
- Xu X, Vreugdenhil D, van Lammeren AAM. Cell division and cell enlargement during potato tuber formation. *Journal of Experimental Botany* 1998; 49: 573-582.

Akdeniz Bölgesinde Kozmik Eş Radyasyon Doz Değerlerinin Expacs Programı ile Belirlenmesi

Hanifi ÇAM¹, Madi BÜLBÜL^{2*}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Nükleer Fizik Anabilim Dalı, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0002-9980-0037>

²<https://orcid.org/0000-0002-0053-1907>

*Sorumlu yazar: madibulbul123@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.03.2022

Kabul tarihi: 21.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Expacs

Kozmik Eş Radyasyon

Akdeniz Bölgesi

Rakım

ÖZ

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesinde bulunan Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Isparta, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye illerinin yıllık ortalama kozmik eş radyasyon değerleri Expacs ((Excel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum) programı ile yapılmıştır. Öncelikle Expacs programı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra bölgeyi oluşturan illerden alınan veriler analiz edilmiştir. Kozmik eş radyasyon doz değeri en fazla 456,65 $\mu\text{S}/\text{y}$ ile Isparta ilinde görülürken en az ise 290,18 $\mu\text{S}/\text{y}$ ile Mersin ilinde görülmüştür. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde kozmik eş radyasyon doz değerlerinin, bölgede yer alan şehirlerin rakımları ile doğru orantılı bir şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Ancak sonuçların enleme bağlı olarak değiştiği, aynı enlem üzerinde boylamın etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. ICRP' nin yıllık doz ve önlem düzeylerine göre kozmik radyasyon doz eşdeğeri çok düşük seviyesinde bulunmuştur.

Determination of Cosmic Equivalent Radiation Value of Mediterranean Region Provinces with Expacs Program

Research Article

Article History:

Received: 09.03.2022

Accepted: 21.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Expacs

Cosmic Equivalent Radiation

Mediterranean Region

Altitude

ABSTRACT

In this study, annual average cosmic equivalent radiation values of Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Isparta, Kahramanmaraş, Mersin and Osmaniye provinces in the Mediterranean Region were calculated with the Expacs (EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum) program. First of all, general information about the Expacs program is given. Then, the data taken from the provinces that make up the region were analyzed. The cosmic equivalent radiation dose value was seen at the most in the province of Isparta with 456.65 $\mu\text{S}/\text{y}$, and the least in Mersin with 290.18 $\mu\text{S}/\text{y}$. When the results were analyzed, it was determined that the cosmic equivalent radiation dose values changed in direct proportion to the altitudes of the cities in the region. However, by marking the data as latitude, it was understood that the longitude on the latitude was the same. According to the annual dose and measure levels of ICRP, the cosmic radiation dose equivalent was found to be very low.

To Cite: Çam H., Bülbül M. Akdeniz Bölgesinde Kozmik Eş Radyasyon Doz Değerlerinin Expacs Programı ile Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 208-219.

1. Giriş

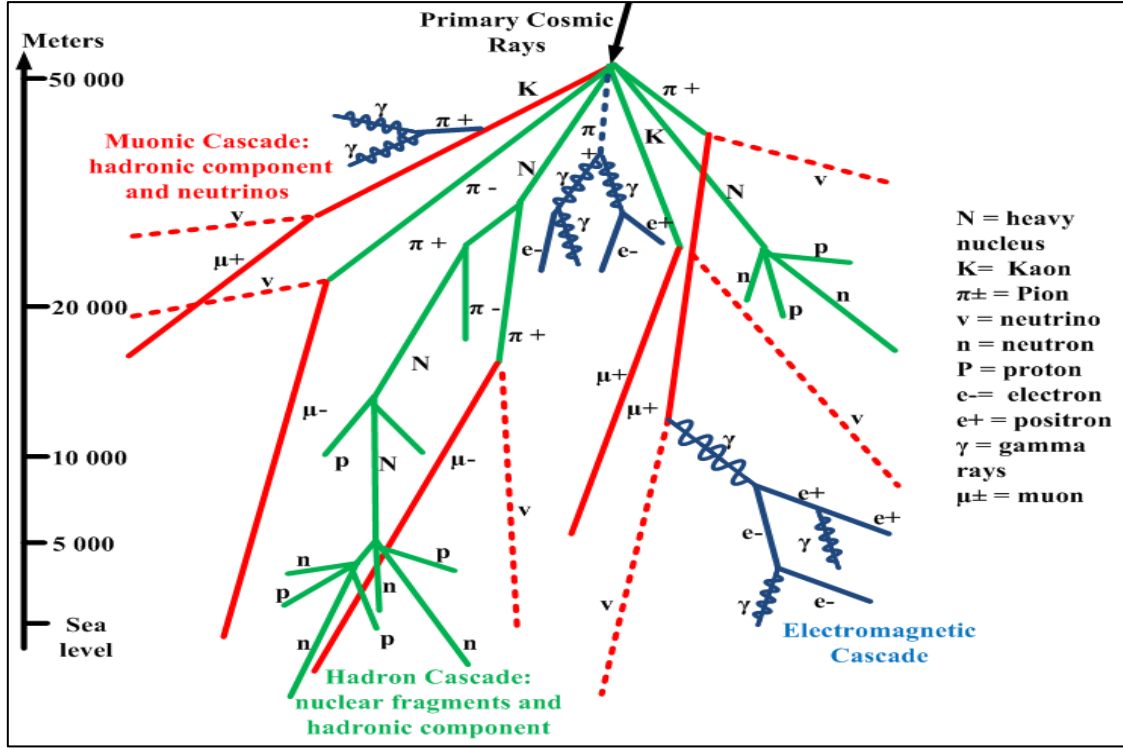
1.1.Kozmik Işın

Kozmik ışınlar süpernova patlamalarının kaynaklık ettiği varsayılmaktadır. Dünyanın yüzeyine gelebilen kozmik ışınlar; galaktik, solar ve dünyanın radyasyon kuşaklarında kalmış parçacıklardan yayınlanan ışınlar olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Galaktik kaynaklı kozmik ışınlar, dünyaya güneş sisteminin dışından ulaşan ve yüksek enerjili parçacıklardır. Solar kaynaklı kozmik ışınlar güneşte meydana gelen patlamalardan kaynaklanır. Üst atmosferde etkiye sahip olup, yer yüzeyinde etkisizdirler (Pehlivan, 2019).

Kozmik ışınlar genellikle yıldızlararası uzaydan Dünya'ya ulaşan yüklü parçacıklar olarak tanımlanır. Bu tanım, tam olarak yüklü çekirdeklerden oluşan kozmik ışın parçacıklarının çoğunu doğru bir şekilde tanımlar. GeV enerjisi seviyesinde hidrojen ve helyum çekirdeklerinin akışı diğer tüm türlere hakimdir (Stanev, 2004). Kozmik ışın parçacıkları Dünya atmosferine saniyede cm^2 başına yaklaşık olarak 1000 kez çarparlar. Bu iyonize çekirdeklerin yaklaşık %90'ı proton, %9'u alfa partikülü ve geri kalan daha ağır çekirdekler oluşmaktadır. Bu ağır çekirdekler ise enerjileri ile ayırt edilebilmektedirler (Gaisser, 1990).

1.1.1.Kapsamlı Hava Duşları

Kozmik ışın parçacığı dünya atmosferine girdiğinde havadaki atom çekirdekleri ile tepkileşir. Havanın bileşimi nedeni ile bu genellikle nitrojen çekirdeğidir. Bu reaksiyonlarda çok sayıda ikincil parçacık oluşur. Sırasıyla havadaki diğer atomlarla reaksiyona girerek daha fazla ikincil parçacık üretimi sağlar. Bu sadece hadronik etkileşimlerle değil aynı zamanda elektromanyetik etkileşimlerle ve kararsız çekirdeklerin bozunması ile de yapılır. Birincil parçacığın enerjisi yeterince büyük olursa bu duş sonunda dünya yüzeyine çok sayıda ikincil parçacık ulaşır. Bu olaya kapsamlı hava duşu (Şekil 1) denir (Horneffen, 2006). Hava duşu parçacıklarının sınıflandırılması ise Tablo 1'de verildiği gibi gerçekleşmektedir (Choppin ve ark.).



Şekil 1. Kapsamlı hava duşu modeli

Tablo 1. Hava duşu parçacıklarının sınıflandırılması

| Sınıf | İsim | Sembol | MeV | Kütle(u) | Ortalama Ömür(s) Bozunma oranı |
|--------|-----------------|----------------------------|-------|----------|---|
| Foton | Foton | $h\nu$ | | 0 | Kararlı |
| | Gama | γ | | | Kararlı |
| Baryon | Nötron | n | 939,6 | 1,008665 | 889, $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$ |
| | Proton | p | 938,3 | 1,007276 | kararlı |
| Lepton | Müon | μ^- | | | 2×10^{-6} , $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e$ |
| | Elektron | e^- | 105,6 | 0,113366 | $+ \nu_\mu$ |
| | Kararlı Nötrinö | ν_e, ν_μ, ν_τ | 0,511 | 0,000548 | |
| Mezon | K-mezon (Kaon) | K^+, K^- | 493,7 | 0,530009 | $\approx 10^{-8}$, $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ |
| | Π-mezon (Pion) | Π^+, Π^0, Π^- | 139,6 | 0,149867 | $, \pi^+ + \pi^0 \approx 10^{-8}$, $\pi^- + \mu^- \nu_\mu$ |

1.2. Akdeniz Bölgesi

Akdeniz Bölgesi (Şekil 2), Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinden birisidir. Anadolu'nun güneyinde Akdeniz kıyısı boyunca uzanır. Genişliği 120 – 180 km arasında değişir. Batı ve kuzey batısında Ege Bölgesi, kuzeyinde İç Anadolu Bölgesi, doğusunda Güneydoğu Anadolu Bölgesi, güneyinde Akdeniz ve Güney doğusunda ise Suriye yer almaktadır. Türkiye'nin diğer bölgelerinde olduğu gibi, Akdeniz Bölgesi'nde de bölge sınırları ile yönetim birimleri olan illerin sınırları tümüyle çakışmaz. Adını güneyindeki denizden alan Akdeniz Bölgesi, kuzey batıda Ege Bölgesi, kuzeyde İç Anadolu Bölgesi, kuzeydoğuda Doğu Anadolu Bölgesi ve doğuda Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile komşudur (Doğaner, 2016).



Şekil 2. Akdeniz Bölgesi haritası

Akdeniz bölgesinde Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Isparta, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye olmak üzere toplam 8 tane vilayet bulunmaktadır.

1.3. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Sınırları ve Tıbbi Cihazların Radyasyon Seviyeleri ICRP (uluslararası radyasyondan korunma komisyonu)' ye göre yıllık alınan doz ve önlem düzeyleri Tablo 2'de verilmiştir (Parlak ve ark., 2020).

Tablo 2. Yıllık alınan doz ve önlem düzeyleri

| | |
|-----------|------------|
| Yüksek | >100mSv |
| Artmış | 10-100 mSv |
| Düşük | 1-10 mSv |
| Çok düşük | <1mSv |
| Önemsiz | <0,01 mSv |

2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun 4.maddesinin (d) bendine dayanılarak hazırlanmış olan radyasyon güvenliği yönetmeliğine göre yıllık doz sınırları radyasyon görevlileri için etkin doz ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv'i, herhangi bir yılda ise 50 mSv'i geçemez. El ve ayak veya cilt için yıllık eşdeğer doz sınırı 500 mSv ve göz merceği için ise 150 mSv'dir. Cilt için en yüksek radyasyon dozuna maruz kalan 1 cm²'lik alanın eşdeğer dozu, diğer alanların aldığı doza bakılmaksızın ortalama cilt eşdeğer dozu olarak kabul edilmektedir. Toplum üyesi kişiler için ise etkin doz yılda 1 mSv'i geçemez. Özel durumlarda; ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv'e kadar izin verilir. Cilt için yıllık eşdeğer doz sınırı 50 mSv, göz merceği için 15 mSv'dir. (RGY, 2000). İstanbul Okan Üniversitesinin 25 hasta üzerinde yaptığı bir çalışmada BT (Bilgisayarlı Tomografi) çekim türüne göre beklenen değerler Tablo 3'te sunulmuştur;

Tablo 3. Okan Üniversitesi Araştırma Sonuçları (Kuru ve ark.,2019)

| BT (bilgisayarlı tomografi) türü | Doz eşdeğer (mSv) |
|--|-------------------|
| Kafa | 1-2 |
| Göğüs | 5-7 |
| Karın | 5-7 |
| Kasık | 3-4 |
| Üst ve alt batin | 8-14 |
| Koronar arter kalsiyum skorlama | 1-3 |
| Koronar arter anjiyografi | 5-15 |

2008 yılında Radiology dergisinde yayınlanan bir makalede ise maruz kalınan radyasyon aralığı Tablo 4'te belirtilmiştir;

Tablo 4. BTdozimetrisi: karşılaştırmalı ölçüm teknikleri ve cihazları (Bauhs ve ark., 2008)

| Vücut bölümü | Bt doz eşdeğeri (mSv) | X-ray doz eşdeğeri (mSv) | Nükleer görüntüleme doz eşdeğeri (mSv) |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|--|
| Kafa | 0,9-4 | --- | --- |
| Kalp | 1-12 | --- | --- |
| Omurga | 1,5-10 | 0,5-1,8 | --- |
| Kasık | 3,3-10 | --- | --- |
| Göğüs | 4-18 | 0,05-0,24 | --- |
| Karın | 3,5-25 | 0,04-1,1 | --- |
| Kolonoskopi | 4-13,2 | --- | --- |
| Anjiyogram | 5-32 | --- | --- |
| Tam vücut | 20+ | --- | --- |
| Kemik yoğunluk testi | --- | 0-0,035 | --- |
| Kol ve bacak | --- | 0,0002-0,1 | --- |
| Panaronamik diş | --- | 0,007-0,09 | --- |
| Mamogram | --- | 0,1-0,6 | --- |
| Kemik | --- | --- | 6,3 |
| Kardiyak stres | --- | --- | 40,7 |

Bu çalışmada Akdeniz Bölgesi'nde yaşayan toplum üyesi bir kişinin yılda almasına izin verilen etkin değer ne kadarını kozmik ışınlardan aldığı ve kozmik ışınlardan alınan değer tıbbi cihazlardan alınan değerlerle kıyaslanma işlemi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

EXPACS (EXcel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum) programı atmosferik kozmik ışın spektrumlarını hesaplamak için sunulmuş excel tabanlı bir programdır. Dünya

atmosferinde her zaman ve her yerde PHITS (Particle and Heavy Ion Transport Code System) tabanlı analitik kullanan PARMA (Atmosferdeki Radyasyon Modeli) nötronların, protonların, 28'e (Ni) kadar yüklü iyonların, müonların, elektronların, pozitronların ve fotonların karasal kozmik ışın akışlarını neredeyse anında hesaplayabilmektedir. Hesaplanan akılara dayalı olarak ayrıca EXPACS etkin dozu, ortam doz eşdeğerini ve havada soğurulan dozu da tahmin edebilmektedir. Ancak programın 4.0 sürümünden sonra karasal kozmik ışınlar da hesaplanabilmektedir (Sato, 2016).

PHIT: PHITS, JAEA, RIST, KEK ve diğer bazı enstitüler arasındaki iş birliği kapsamında geliştirilen genel amaçlı bir Monte Carlo parçacık taşıma simülasyonu kodudur. Çeşitli nükleer reaksiyon modelleri ve nükleer veri kitaplıkları kullanarak tüm parçacıkların geniş enerji aralıklarında taşınmasıyla ilgilenir. PHITS, hızlandırıcı teknolojisi, radyoterapi, uzay radyasyonu ve parçacık ve ağır iyon taşımını olaylarıyla ilgili diğer birçok alanda araştırmalarınızı destekleyebilir.

PARMA: Bütün rota-doz hesaplaması için monte carlo simülasyonu gerçekleştirmek en son bilgisayar kullanıcıları için bile son derece zaman alıcıdır. Bu nedenle monte carlo ile elde edilen spektrumların bir rota-doz hesaplama kodunda kullanılmasına izin vermek için varsayım veya parametrikleşme gereklidir. Bunun için simülasyon sonuçlarının kapsamlı bir analizine dayanarak nötronlar, protonlar, He çekirdekleri, müonlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlar için atmosferik kozmik ışın spektrumlarını tahmin edebilmek için herhangi bir küresel koşula uygulanabilir model olarak adlandırılan PARMA sistemi geliştirilmiştir.

Bu Programda;

B7: Deniz seviyesinden yüksekliği (km), (ft) veya atmosferik derinlik(g/cm^2) olarak girilir. PARMA'nın uygulanabilir atmosferik derinlik aralığı 0,15 ile $1095g/cm^2$ ve irtifa ise -0,5 ile 63 km arasındadır. Bu dış aralıklarda hesaplanan kozmik ışın akıları özellikle ikincil parçacıklar için güvenilir değildir.

B8,9: Ölçüm yapacağımız bölgenin koordinatlarını girmemiz gereken yerdir. Coğrafi koordinat düzlemine göre 180° Doğu ile 180° Batı boyları, 90° Kuzey ile 90° Güney enlemleri arasındaki herhangi bir bölge girilebilir.

B10,11,12: Ölçüm için belirlediğimiz zamanın sırasıyla yıl, ay ve gün olarak girilmesi gereken yerdir.

B13: Surrounding Environment (Çevreleyen Ortam)'ı belirlememiz gereken kısımdır. Buradan yer seviyesi, pilot konumu, kabin konumu ve ideal atmosfer durumunu seçip hesaplama işlemini ona göre devam ettirmemiz gerekir. Bu çalışmada ölçüm yapılan şehirlerin rakımları kullanılmıştır.

B14: Local Effect Parameter (Bölgesel Etki Parametresi) kullanılmaktadır. Bu parametre sadece nötron spektrumunu etkiler. Yer seviyesindeki nötron için, spektrum yerdeki suyun girdi oranıdır. Uçaktaki nötron spektrumları için ise uçağın giriş kütlesi kabul edilmektedir.

B15: Definition of dose (Doz tanımı) İstenilen ölçüm sonucunu, efektif doz, H10 dozu veya absorbe doz cinsinden hesaplamada kullanılmaktadır.

B16: Çıkış akısının birimini seçer. ($/cm^2/s/(MeV/n)$) birimi olarak belirtilir. Çekirdek akıları hariç; yani diğer parçacıklar için $n=1$ alınır.

B17: Çıkış dozu birimini verir. Bunlar; (mSv/year), (nSv/h) ve (μ Sv/h) cinsinden seçilebilir.

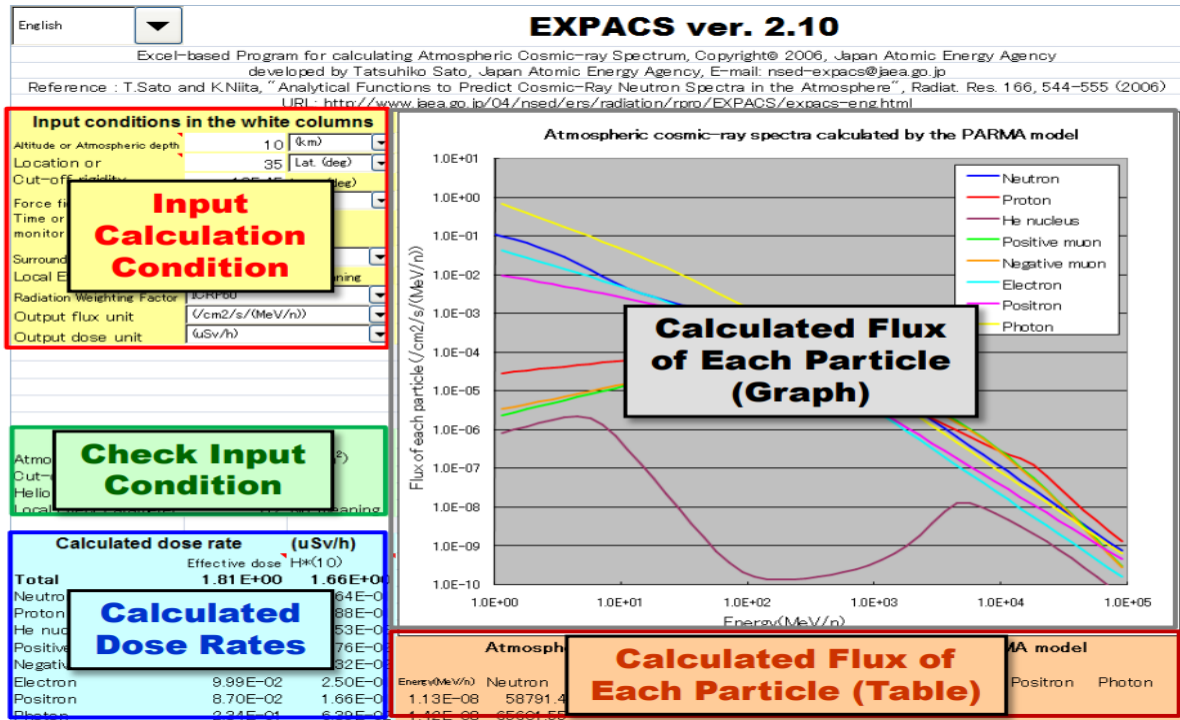
EXPACS programından ise aşağıda belirtilen sonuçlar alınır;

B30-39: Kozmik ışın maruziyeti nedeniyle hesaplanan doz oranlarıdır. Doz tipi ve birimi sırasıyla B15 ve B17 hücrelerinde belirtilir.

B30: toplam doz oranlarını gösterirken B31 ile B39 hücreleri arasındaki her parçacık, kendi katkısını gösterir.

D35-AL174: Giriş koşulu için hesaplanmış kozmik ışın akışlarıdır (Sato, 2018).

Expacs programının kullanım yönergesi Şekil 3'te belirtilmiştir.



Şekil 3. Expacs programı kullanım yönergesi

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kozmik ışınların Akdeniz bölgesinde yer alan illere etki eden doz eşdeğerleri rakım ve koordinat faktörleri ile hesaplanmıştır (Tablo 5). Bulunan veriler μ S/y cinsinden tablo haline getirilmiştir. Çalışmada yer alan illerin toplam doz eşdeğerlerinin yanı sıra proton, nötron, negatif müon ve pozitif müon etki değerleri hesaplanmış olup toplam etki üzerindeki yüzdelik oranları belirtilmiştir.

Tablo 5. Akdeniz bölgesi illerinin rakım ve koordinatları

| İl | Rakım (Metre) | Enlem | Boylam |
|-----------------|----------------------|--------------|---------------|
| Adana | 23 | 37 N | 35,321333 E |
| Antalya | 39 | 36,88414 N | 30,70563 E |
| Burdur | 950 | 37,718416 N | 30,282007 E |
| Hatay | 100 | 36,202216 N | 36,161948 E |
| Isparta | 1049 | 37,764771 N | 30,556561 E |
| K. Maraş | 568 | 37,574957 N | 36,924115 E |
| Mersin | 10 | 36,8 N | 34,633333 E |
| Osmaniye | 129 | 37,074478 N | 36,246295 E |

Tablo 5’te görüldüğü gibi Akdeniz bölgesi illeri 36- 38. enlemleri ile 30- 37. boylamları arasında yer alırken deniz seviyesinden yüksekliği ise 10 – 1049 m arasında değişmektedir.

Akdeniz bölgesi illerinin kozmik ışın doz eşdeğer miktarı Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Akdeniz bölgesi illerinin kozmik ışın doz eşdeğer miktarı

| İl | Toplam ($\mu\text{S/y}$) | Proton ($\mu\text{S/y}$) | Nötron ($\mu\text{S/y}$) | -Mu ($\mu\text{S/y}$) | +Mu ($\mu\text{S/y}$) |
|-----------------|--|--|--|---|---|
| Adana | 291,66 | 9,12 | 43,3 | 91,38 | 105,76 |
| Antalya | 293,2 | 9,26 | 44 | 91,4 | 105,78 |
| Burdur | 436,3 | 23,04 | 101,29 | 108,68 | 125,61 |
| Hatay | 297,7 | 9,67 | 45,48 | 91,64 | 105,98 |
| Isparta | 456,65 | 25,39 | 110,27 | 111,06 | 128,12 |
| K. Maraş | 369,06 | 16,07 | 73,073 | 100,58 | 116,56 |
| Mersin | 290,18 | 8,98 | 42,6 | 91,64 | 105,7 |
| Osmaniye | 303,44 | 10,04 | 47,79 | 92,33 | 106,8 |

Tablo 6’da bulunan değerlere göre kozmik ışının ana sebebinin rakım faktörü olduğu, ikincil sebebin ise enlem olduğu görülmektedir. Kozmik ışın maruziyeti rakım ile doğru orantı bir şekilde değişim göstermektedir. Kozmik ışın maruziyeti her ne kadar enlem ile doğru orantı sergilese de rakımın azaldığı çukur bölgelerde kozmik ışın etkisinin de azaldığı görülmektedir. Aynı enlem üzerinde bulunan yerler için boylamın hiç etkisinin olmadığı sadece rakıma bağlı değişim gerçekleştiği bulunmuştur.

Doğu Karadeniz bölgesinde yapılan benzer bir çalışma ile kıyaslandığında, çalışmanın gayet uyumlu bir yapı içerisinde olduğu belirlenmiştir.

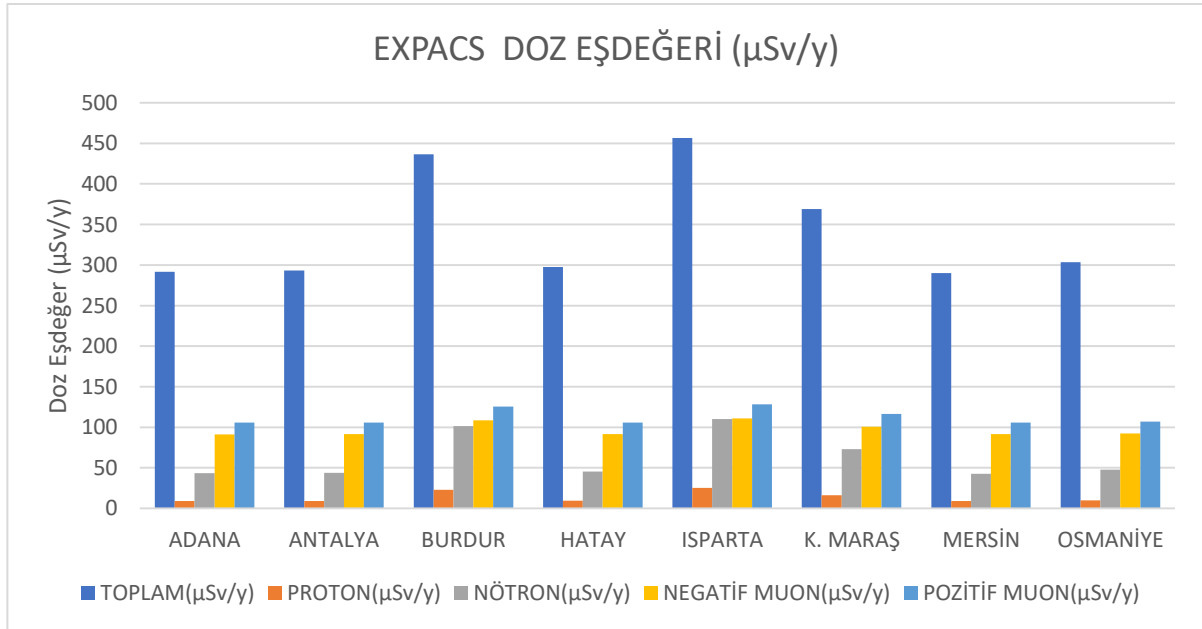
Doğu Karadeniz bölgesi illerinin expacs programına göre kozmik ışın doz eşdeğeri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Doğu Karadeniz bölgesi illerinin expacs programına göre kozmik ışın doz eşdeğeri (Ada, 2019)

| Şehir | Rakım | Enlem | Boylam | Toplam (μS/y) | Proton (μS/y) | Nötron (μS/y) | -Mu (μS/y) | +Mu (μS/y) |
|-----------|-------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|------------|------------|
| Giresun | 38 | 40,9227 N | 38,3878 E | 302 | 10 | 48 | 92 | 107 |
| Gümüşhane | 1216 | 40,4598 N | 39,4653 E | 546 | 32 | 132 | 116 | 134 |
| Trabzon | 39 | 40,9985 N | 39,7649 E | 341 | 10 | 49 | 92 | 107 |
| Bayburt | 1584 | 40,2547 N | 40,2207 E | 650 | 44 | 177 | 125 | 142 |
| Rize | 0 | 41,04 N | 40,5013 E | 334 | 10 | 47 | 92 | 107 |
| Artvin | 613 | 41,1752 N | 41,8187 E | 424 | 19 | 86 | 102 | 119 |

Tablo 7’de Gazi üniversitesinin 2019 yılında yaptığı çalışma sonuçları da çalışmamızı destekleyici nitelikte olup Rize ile Bayburt arasındaki 1500 metrelik bir rakım artışı kozmik radyasyon doz eşdeğerinde iki katına yakın bir fark oluşmasına neden olmuştur. Çalışmalar kıyaslandığında, aynı rakıma sahip Antalya ile Giresun arasındaki 9,8 μS’lık farkın oluşmasının nedeninin iki şehir arasındaki 4,1 derecelik enlem faktörünün neden olduğu düşünülmektedir. Parçacıkların saçınma oranlarına baktığımızda ise iki çalışma arasında bir uyum görülmektedir, parçacıklar neredeyse aynı oranlarda saçınmakta olup baskın olan parçacıkların muonlar olduğu tespit edilmiştir.

Grafik 1’de görüleceği üzere doz eşdeğer miktarına en çok katkı yapan parçacık pozitif müonlar iken bunu sırasıyla negatif müon, nötron ve proton izlemektedir.



Grafik 1. Akdeniz bölgesi illerinin kozmik ışın doz eşdeğer grafiği

Akdeniz bölgesi illerinin kozmik ışın doz eşdeğer miktarı yüzdesi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Akdeniz bölgesi illerinin kozmik ışın doz eşdeğer miktarı yüzdesi (%)

| İl | Proton (%) | Nötron (%) | -Mu (%) | +Mu (%) |
|----------|------------|------------|---------|---------|
| Adana | 3,12 | 14,84 | 31,33 | 36,26 |
| Antalya | 3,15 | 15 | 31,17 | 36,07 |
| Burdur | 5,28 | 23,21 | 24,91 | 28,79 |
| Hatay | 3,24 | 15,27 | 30,78 | 35,6 |
| Isparta | 5,56 | 24,14 | 24,32 | 28,05 |
| K. Maraş | 4,35 | 19,8 | 27,25 | 31,58 |
| Mersin | 3,09 | 14,68 | 31,58 | 36,42 |
| Osmaniye | 3,3 | 15,75 | 30,42 | 35,19 |

Tablo 8’de gösterilen yüzde verilerini incelediğimizde Expacs programına göre kozmik ışının en çok pozitif müon kaynaklı olduğu tespit edilmektedir. İller arası rakım farkları göz önüne alındığında rakım arttıkça proton ve nötron etkisinin arttığı, negatif müon ve pozitif müon etkisinin azaldığı tespit edilmiştir. Parçacıkların dağılımının nedenleri arasında ise enlemin bir etkisinin olmadığı yalnızca toplam maruziyet üzerinde etki gösterdiği bulunmuştur. Protonun kütlelerinin $938,272029 \text{ Mev}/c^2$ nötronun kütlelerinin $939,565378 \text{ Mev}/c^2$ ve müonun kütlelerinin $105,66 \text{ Mev}/c^2$ olduğu bilindiğinden yüzdesel dağılımda kütlelerinin farklı olmalarından kaynaklı bir sonuç gözlemlenememiştir.

Kozmik bir ışının protonu üst atmosferdeki atom çekirdeklerini etkilediğinde, pionlar oluşmaktadır. Bunlar nispeten kısa bir mesafede (metre) müonlara ve müon ise nötrinolarına bozunmaktadır. Bu yüksek enerjili kozmik ışınlardan gelen müonlar, genellikle ışık hızına yakın bir hızla ve orijinal proton ile yaklaşık aynı yönde ilerlemektedir. Müonlar göreceli etkiler olmaksızın ömürleri en fazla $2,2\mu\text{s}$ yarı ömre sahip olsa da özel göreliliğin zaman uzama etkisi ile bu süre $34,8\mu\text{s}$ ’ye uzayabilmektedir. Bu nedenle kozmik ışın ikincil müonlarının Dünya’nın yüzeyine ulaşabilmesini sağlamaktadır. Çünkü Dünya çerçevesinde müonlar hızlarından dolayı daha uzun bir yarı ömre sahiptir (Fermilab,2017).

4. Sonuç

Yapılan bu çalışma ile Akdeniz Bölgesi’nde yer alan Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Isparta, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye illerine etki eden kozmik ışın eş radyasyon dozu tespit edilmeye çalışılmış ve bu dozun radyasyon güvenlik yönetmeliğine göre etkisi incelenmiş olup tıbbi cihazların yaydığı radyasyon ile karşılaştırılması yapılmıştır. Expacs programından elde ettiğimiz veriler incelendiğinde ortalama maruziyet $290,18 \mu\text{Sv}/y$ ile $456,65 \mu\text{Sv}/y$ arasında olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçların, çalışma yapılan bölgeyi oluşturan illerin rakımları ile doğrudan ilgili olduğu illerin koordinatlarında ise enlem artışında doz eşdeğer miktarında bir artış olduğu, aynı enlemler üzerindeki illerde ise boylamın bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Radyasyon Güvenlik Yönetmeliği dikkate alındığında (RGY) bulunan sonuçların çok düşük olduğu anlaşılmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde yılda maruz kalınan kozmik ışın değeri ile bir X-ray ve

Kemik yoğunluk testi kıyaslandığında kemik yoğunluk testinin en az radyasyon değerine sahip olduğu görülmektedir. X-ray cihazı çok geniş bir skalaya sahip olup kozmik ışıktan sonra bölgesel olarak fazla veya az etki gösterebilir. BT ise yüksek bir radyasyon değerine ve bölgesel olarak artan bir radyasyon skalasına sahip olduğundan insan sağlığı açısından en tehlikeli tıbbi cihaz olduğu anlaşılmıştır.

Gazi üniversitesinin yaptığı çalışma ile de kıyaslanan çalışmamızın verileri, parçacık saçınım oranının doğruluğunu ortaya koymaktadır ve her iki çalışmaya göre yeryüzüne en çok düşen parçacık olarak muonlar, muonların kendi içerisinde ise + muonlar olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca elde edilen sonuçların, ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu) tarafından belirlenen değerlerin çok altında olduğu görülmüştür.

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

Ada HT. Doğu Karadeniz bölgesi kozmik radyasyon dozunun simülasyon yoluyla hesaplanması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Sayfa no: 65, Ankara, Türkiye, 2019.

Bauhs JA., Vrieze TJ., Primak AN., Bruesewitz MR., McCollough CH. CT dosimetry: comparison of measurement techniques and devices. Radiographics 2008; 28(1): 245-53.

Choppin G., Liljenzin J., Rydberg J., Ekberg C. Radiochemistry and nuclear chemistry. 4th Ed. USA: Academic Press; 2013; 21.

Doğaner S. Akdeniz bölgesi coğrafyası. İstanbul Üniversitesi, 157-194: İstanbul, Türkiye, 2006.

Fermilab. Muon g-2 Experiment. Muon g-2 Experiment. April 26, 2017.

Gaisser TK. Cosmic rays and particle physics. 1st ed. Cambridge; 1990; 1-10.

Horneffen A. Measuring radio emission from cosmic ray air showers with a digital radio telescope. Universität Bonn- der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Willhelms, sayfa no: 12-13, Bonn, Almanya, 2006.

Kuru Lİ., Günay O., Palacı H., Yazar O. Bilgisayarlı tomografilerde hastanın aldığı efektif radyasyon dozunun belirlenmesi. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi 2019; 21(1): 436-443.

RGY, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatNo5272&MevzuatTur=7&MevzuatTerkip=5> (Son Erişim 1.03.2022).

- Parlak Y., Uysal B., Kır a FS., Kovan B., Demir M., Ayan A., Poyraz L.,  zaslan  A., Köseoğlu K., Yeyin N., Dönmez S. Radyasyon güvenliği kılavuzu: genel tanımlar ve nükleer tıp uygulamalarında radyasyondan korunma kuralları. Nucl Med Semin 2020; 6: 71-89.
- Pehlivan M. Orta Karadeniz bölgesi yer seviyesi kozmik radyasyon dozunun fluka simülasyon yoluyla hazırlanması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:7, Ankara, Türkiye, 2019.
- Sato T. Analytical model for estimating the zenith angle dependence of terrestrial cosmic ray fluxes. plos one 2016; 11(8): e0160390.
- Sato T. EXPACS: Excel-based Program for calculating Atmospheric Cosmic-ray Spectrum User's Manual. 2018.
- Stanev T. High energy cosmic rays. 2nd ed. Chichester; 2004; 1-5.

Türk Çimento Üreticilerinin 2015-2020 Yılları Arasında Finansal Açından Değerlendirilmesi*

Abdul Rahim BABUR¹, Güzde TANTEKİN ÇELİK^{2**}

^{1,2} Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

* Yüksek Lisans Tezi.

¹<https://orcid.org/0000-0001-6256-8476>

²<https://orcid.org/0000-0002-0045-4489>

**Sorumlu yazar: gtantekin@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.04.2022

Kabul tarihi: 15.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İnşaat Sektörü

Çimento Sektörü

Finansal Analiz

ÖZ

Çimento sektörü, Türk inşaat sektörünün önemli alt sektörlerinden biridir. Türk çimento sektörü ulusal ve uluslararası pek çok firma ve/veya ortaklıklardan oluşmaktadır. Türk çimento firmaları, son yıllarda artan üretim kapasiteleri ile yurt içi ve yurt dışı satışlarını artırarak, bölgesel olarak öne çıkmayı da başarmıştır. Son yıllarda ülkede yaşanan ekonomik dalgalanmalara 2020 yılında başlayan COVID-19 pandemisinin de eklenmesi ile ekonomik krizin etkileri pek çok sektörde hissedilmiştir. Bu çalışmada, ülkenin önde gelen sektörlerinden biri olan, çimento sektörünün 2015-2020 yıllarındaki finansal durumunun değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında; ilk olarak literatür taraması yapılmış ve yapı sektöründe sık kullanılan finansal oranlar belirlenmiştir. Çimento sektörünün finansal durumunun belirlenmesi amacıyla; likidite analizi, finansal yapı analizi, faaliyet durum analizi ve kârlılık analizi yapılmış ve çıkan sonuçlar doğrultusunda firmalara öneriler sunulmuştur.

Financial Evaluation of Turkish Cement Manufacturers between 2015-2020

Research Article

Article History:

Received: 28.04.2022

Accepted: 15.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Construction Industry

Cement Industry

Financial Analysis

ABSTRACT

The cement industry is one of the most important sub-sectors of the Turkish construction sector. The Turkish Cement sector consists of many national and international companies. Turkish cement companies have managed to stand out regionally by increasing their domestic and international sales together with developing production capacities in recent years. With the addition of the COVID-19 pandemic, which started in 2020, to the economic fluctuations experienced in the country in recent years, the effects of the economic crisis have been seen in many sectors. This study is aimed to evaluate the financial position of the cement sector, which is one of the leading sectors of the country, between the years 2015-2020. Within the scope of the study, literature was reviewed, and frequently used financial ratios in the construction sector were determined. In order to determine the financial position of the cement sector, liquidity analysis, solvency ratio, efficiency ratio, and profitability ratio were used, and suggestions were presented to companies in line with the results.

To Cite: Babur AR., Tanteğin Çelik G. Türk Çimento Üreticilerinin 2015-2020 Yılları Arasında Finansal Açından Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 220-234.

1. Giriş

Gelişmekte olan pek çok ülkede olduğu gibi inşaat sektörü Türkiye’de de ekonomiye katkı sağlayan önemli sektörlerden biridir. İnşaat sektörü; inşaat sanayi ve inşaat hizmetleri olarak iki ana gruba ayrılmakta (Uzunkaya, 2013) ve ilişkili olduğu 200’den fazla alt sektör ile (Güllüoğlu ve Güllüoğlu, 2019) ülke ekonomisinde itici bir güç konumunda yer almaktadır (Ertaş ve Peşmen, 2020). Türkiye, özellikle yapı malzemelerinin üretiminde hammadde açısından zengin doğal kaynaklara sahiptir ve bu durum ülkenin çimento, seramik, alçı ve mermer gibi taş ve toprağa dayalı sanayi dallarında (Uzunkaya, 2013) avantajlı hale gelmesini sağlamaktadır. Türkiye, çimento üretiminde ulusal pazarda çoğu çimento çeşidi açısından kendine yetebilen bir yapı sergilerken; uluslararası alanda ise bölgenin ve dünyanın sayılı çimento üreticilerinden biri konumundadır (Sarkhosh, 2021). Türkiye, Dünya çimento üretiminde 6. sırada yer almaktadır (Url - 1, 2021).

Ülke ekonomilerinin dengeli yapısı, itici sektörlerin performansları ile direkt ilişkili bir yapıda bulunmaktadır. Firmaların, finansal performansları ise buldukları sektörün ekonomik durumunu doğrudan etkileyen unsurlardan biridir (Babur, 2021).

Çimento sektörü, inşaat sektörünün önemli alt sektörlerinden biri olması sebebiyle literatürde pek çok araştırmacı tarafından farklı dönemlerde finansal açıdan değerlendirilmiştir (Gerek ve ark., 2012; Sakarya ve Akkuş, 2015; Akbulut ve Rençber, 2015; Gümüş ve ark., 2017; Güleç ve Özkan, 2018; Saygılı ve Şahin, 2018; Ege ve Yaman, 2018; Çanakçıoğlu, 2019; Uyar ve Çağlak, 2019). Farklı ülkelerin çimento firmalarının finansal açıdan karşılaştırıldığı bir çalışmada Türk çimento firmalarının incelenen diğer uluslararası firmalara göre daha yüksek kâr marjı ile çalıştığı tespit edilmiştir (Uyar ve Çağlak, 2019). 2005-2016 yılları arasında çimento firmalarının incelendiği bir çalışmada, Türk çimento firmalarının genelinin; etkin ve yüksek hisse senedi getirisine sahip firmalar olduğu belirtilmiştir (Güleç ve Özkan, 2018). Bir başka çalışmada ise; Türkiye’de çimento sektöründe işlem gören firmaların; ülkenin genel ekonomik durumunda yaşanabilecek olumsuz gelişmelerden çok da etkilenmediği ve riski düşük bir sektör olduğu belirtilmiştir (Akbulut ve Rençber, 2015). Yukarıda belirtilen çalışmalar COVID-19 pandemi süreci öncesini kapsamakta ve çimento sektörünün finansal yapısı ile ilgili olumlu bir tablo sergilemektedir.

2020 yılında ülkemizi de etkisi altına alan pandemi süreci, pek çok sektörü olduğu gibi inşaat sektörünü de gerek alınan önlemlerden dolayı iş modellerinde yaşanan değişiklikler sebebiyle, gerekse ekonomik açıdan etkilemiştir (Genç, 2021). İnşaat mühendislerine yapılan bir çalışmada; sektör profesyonelleri bireysel bazda değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çalışanların pandemi önlemlerine uyduğu, gerektiğinde evden çalıştığı bununla beraber ülke ve sektörün ekonomik yapısı konusunda endişeli oldukları görülmüştür (Genç, 2021).

Bu çalışmada, inşaat sektörünün ulusal ve uluslararası alanda aktif çalışan alt sektörlerinden biri olan çimento sektörünün genel finansal yapısı incelenmiştir. Çalışmada, Borsa İstanbul’a (BİST) kayıtlı taş ve toprağa dayalı şirketler arasından çimento sektörüne ait 16 firmanın 2015-2020 yıllarına ait verileri finansal analiz tekniklerinden olan oran analizi ile analiz edilmiştir. Çalışmada, firmalar; 2015-2020

yılları kapsamında altı yıllık bir süreç için incelenmiştir. Çalışmada; ülkenin ekonomik açıdan daha stabil durumda olduğu 2015 dönemi ile pandeminin başladığı 2019-2020 yılları da dahil edilerek sektörün kriz dönemlerindeki durumu da değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Türkiye’de 2018 yılında etkileri hissedilmeye başlayan ekonomik kriz 2020 yılında COVID-19 pandemi süreci ile global bir kriz olarak devam etmiş ve tüm sektörleri belli oranlarda etkilemiştir. Bu çalışmada inşaat sektörüne girdi sağlayan en önemli alt sektörlerden biri olan çimento sektörünün finansal açıdan değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Araştırmaya Borsa İstanbul’da (BİST) işlem gören 16 adet çimento şirketi dahil edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen 5 şirket 2020 yılında tek bir çimento şirketi altında toplanmıştır. Birleşen şirketlerin verileri 2020 yılında tek şirket olarak ele alınmıştır.

Çalışmada, söz konusu şirketlerin 2015-2020 yıllarına ait dönem sonu bilanço ve gelir tablolarından yararlanılmıştır. Araştırmaya dahil edilen şirketlerin finansal verileri Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) aracılığıyla sağlanmıştır (KAP, 2021). Çalışmada çimento şirketlerinin finansal verileri yıllık olmak üzere 6 dönem şeklinde değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, çimento sektörünün finansal durumunu analiz eden çalışmalar araştırılmış (Erdiş, 2004; Gerek ve ark., 2012; Çanakçıoğlu, 2019) ve çimento sektörünün finansal analizinde yaygın kullanılan finansal oranlar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında çimento firmalarının finansal analizinde kullanılan oranlar Tablo 1’de özetlenmiştir. Firmaların finansal performanslarının değerlendirilmesi amacıyla; oran analizi yöntemi kapsamında; likidite analizi (cari oran, asit test oranı, nakit oranı, stok bağımlılık oranı, kısa vadeli alacaklar/aktif toplam oranı); finansal yapı analizi (finansal kaldıraç oranı, kısa vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı, uzun vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı, dönen varlıklar/aktif toplam oranı, maddi duran varlıklar/özkaynak oranı, özkaynak oranı, finansman oranı); faaliyet durumu analizi (alacak devir hızı, stok devir hızı, dönen varlık devir hızı, net işletme sermayesi devir hızı, maddi duran varlık devir hızı, özkaynak devir hızı); kârlılık analizi (vergi öncesi kâr/özkaynak oranı, aktif kârlılık, esas faaliyet kâr marjı, ekonomik rantabilite oranı, faiz karşılama oranı) için kullanılan oranlar hesaplanmıştır. Firmaların oranlarından yararlanılarak altı yıllık sektör ortalamaları hesaplanmış ve inşaat sektörünün önemli alt sektörlerinden biri olan çimento sektörünün kriz öncesi ve kriz dönemi durumu yorumlanmıştır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda, gelecek dönemler ile ilgili tahminlerde bulunularak firmalara öneriler sunulmuştur.

Çalışma kapsamında finansal oranların hesaplanmasında ve sunumunda Microsoft Excel ve Word 2019 paket programları kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında 2015-2020 yıllarını kapsayan dönem için; çimento üretimi, iç satış ve ihracat verileri Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği’nin yayınladığı istatistiklerin incelenmesi sonucu elde edilmiştir (Türk Çimento, 2021).

Şekil 1 incelendiğinde (Türk Çimento, 2021; Baruti, 2018), çimento üretiminin 2006-2017 yılları arasında genel olarak artış eğiliminde olduğu, 2018 yılından itibaren ise üretimde azalma olduğu görülmektedir. 2018 yılında Türkiye’de yaşanan olumsuz ekonomik koşullar ve 2020 yılında başlayan global pandemi süreci inşaat sektörünü yavaşlatmış ve çimento talebini azaltmıştır. Avrupa’nın en büyük çimento üreticisi olan Türk çimento sektörünün 2018 yılında çimento üretim miktarı 72,5 milyon ton iken 2019 yılında 57 milyon tona inmiştir. 2019 yılında BİST’te işlem gören çimento şirketlerinin net kârları azalma eğilimine girmiş ve bu şirketlerin bazıları zararını açıklamıştır (Türk Çimento, 2021).

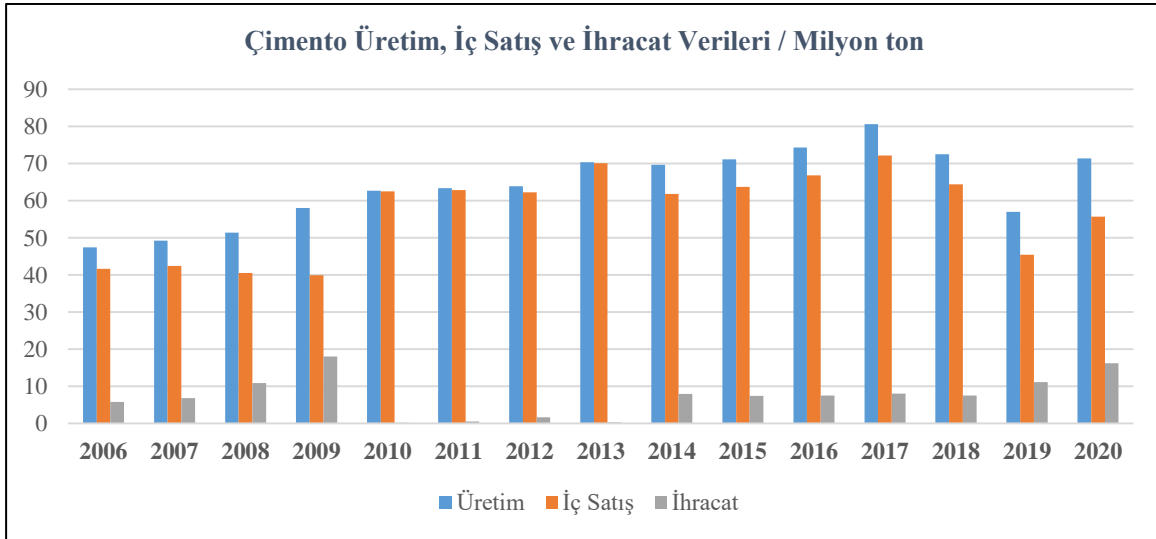
Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan finansal oranlar

| Analiz Yöntemi | Finansal Oran | Eşitlik | Standart Oran |
|----------------------------------|--|--|---|
| Likidite Analizi | Cari Oran | Dönen Varlıklar / Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar | $\geq 1,80$ |
| | Asit Test (Likidite) Oranı | Dönen Varlıklar – Stoklar / KVYK | $\geq 1,00$ |
| | Nakit Oranı | Hazır Değerler + Menkul Kıymetler / KVYK | $0,20 \leq st \leq 1,00$ |
| | Stok Bağımlılık Oranı | KVYK – (Hazır Değerler + Menkul Kıymetler) / Stoklar | Yıllık sektör ortalaması |
| | Kısa Vadeli Alacaklar / Aktif Toplam Oranı | Kısa Vadeli Alacaklar / Aktif Toplam | Yıllık sektör ortalaması |
| Finansal Yapı Analizi | Finansal Kaldıraç Oranı | Toplam Yabancı Kaynaklar / Varlık Toplamı | $\leq 0,60$ |
| | Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar / Aktif Toplam Oranı | KVYK / Varlık Toplamı | $\leq 0,30$ |
| | Uzun Vadeli Yabancı Kaynaklar / Aktif Toplam Oranı | UVYK / Varlık Toplamı | $\leq 0,30$ |
| | Dönen Varlıklar / Aktif Toplam Oranı | Dönen Varlıklar / Varlık Toplamı | Yıllık sektör ortalaması |
| | Maddi Duran Varlıklar / Özkaynak Oranı | Maddi Duran Varlıklar / Özkaynaklar | $\leq 1,00$ |
| | Özkaynak Oranı | Özkaynaklar / Varlık Toplamı | $\geq 0,50$ |
| | Finansman Oranı | Özkaynaklar / Toplam Yabancı Kaynaklar | $\geq 1,00$ |
| | Faaliyet Durumunun Analizi | Alacak Devir Hızı | Kredili Satış Tutarı / Ticari Alacaklar |
| Stok Devir Hızı | | Satışların Maliyeti / Ortalama Stok | Yıllık sektör ortalaması |
| Dönen Varlık Devir Hızı | | Net Satış Tutarı / Dönen Varlıklar | $1,50 \leq st \leq 2,00$ |
| Net İşletme Sermayesi Devir Hızı | | Net Satış Tutarı / Dönen Varlıklar - KVYK | Yıllık sektör ortalaması |
| Maddi Duran Varlık Devir Hızı | | Net Satış Tutarı / Maddi Duran Varlıklar | Yıllık sektör ortalaması |
| Kârlılık Analizi | Özkaynak Devir Hızı | Net Satış Tutarı / Öz Kaynaklar | Yıllık sektör ortalaması |
| | Vergi Öncesi Kâr / Özkaynak Oranı | Vergi Öncesi Kâr / Özkaynaklar | Yıllık sektör ortalaması |

| | | |
|----------------------------|--|--------------------------|
| Aktif Kârlılık | Net Kâr / Varlık Toplamı | Yıllık sektör ortalaması |
| Esas Faaliyet Kâr Marjı | Esas Faaliyet Kârı / Net Satış Tutarı | Yıllık sektör ortalaması |
| Ekonomik Rantabilite Oranı | Dönem Kârı+Finansman Giderleri / Varlık Toplamı | Yıllık sektör ortalaması |
| Faiz Karşılama Oranı | Dönem Kârı+Finansman Giderleri / Finansman Giderleri | ≥ 1,00 |

Çimento iç satışları incelendiğinde 2017 yılından sonra iç satışlarda yaşanan azalmada ülkenin ekonomik durumunun etkili olduğu düşünülmektedir. Ülkede 2018 yılından itibaren hissedilen ekonomik dalgalanmalar inşaat sektörünü etkilemiş ve konut piyasasına da yansımıştır. Bu da 2018-2019 yılları arasında iç pazardaki çimento talebinin azalmasına neden olmuştur. 2018 yılında toplam çimento iç satışları bir önceki yıla göre %10,8 kadar azalırken, 2019 yılında sektörün toplam üretimi %29,5'lik oranda azalmaya devam etmiştir (TÜİK, 2021). Sektörün toplam iç piyasa satışları 2017 yılında 72,2 milyon ton iken, 2018 yılında 64,4 milyon ton, 2019 yılında ise 45,4 milyon tona gerilemiştir. Bu nedenle iç satışlardaki azalmanın devam etmesinden dolayı, çimento işletmeleri ihracata yönelmiştir (Türk Çimento, 2021). Çimento sektöründe iç satışların düştüğü dönemde ihracatta artış olması firmaların iç pazardaki azalmayı dış pazara yönelterek dengelemeye çalıştığını göstermektedir (Şekil 1).

2020 yılında pandemi krizinin global etkileri, çimento satışlarının iptali, kurların yükselişi, enflasyonun çimento fiyatlarına etkisi, hammadde, finansman ve enerji maliyetlerinin artışı çimento sektörünü 2020 yılının Haziran ayına kadar olumsuz etkilemiştir (Türk Çimento, 2021). Ülkede konut sektörünün yeniden canlanması (Türk Çimento, 2021) ve kamu bankaları tarafından çimento firmalarına sağlanan uzun vadeli borç paketleri çimento sektörünün 2020 yılının ikinci yarısından itibaren tekrar toparlanmasını sağlamıştır. Borç paketlerinin firmaların kısa vadeli borç ödeme güçlerini arttırdığı ve COVID-19 salgınının firmalar üzerindeki etkisini azalttığı belirtilmektedir (Yücel ve Durak, 2021). 2020 döneminin ikinci yarısından itibaren çimento sektörünün tekrar canlanmasının ardından çimento üretimi 71,4 milyon tona, çimento iç satışları ise 55,7 milyon tona ulaşmıştır.



Şekil 1. Çimento sektörü 2006-2020 dönemi üretim, iç satış ve ihracat verileri (Baruti, 2018; Türk Çimento, 2021).

Çalışma kapsamında BİST’te işlem gören çimento firmalarının 2015-2020 yıllarını kapsayan likidite analizi (cari oran, asit test oranı, nakit oranı, stok bağımlılık oranı, kısa vadeli alacaklar/aktif toplam oranı); finansal yapı analizi (finansal kaldıraç oranı, kısa vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı, uzun vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı, dönen varlıklar/aktif toplam oranı, maddi duran varlıklar/öz kaynak oranı, öz kaynak oranı, finansman oranı); faaliyet durumu analizi (alacak devir hızı, stok devir hızı, dönen varlık devir hızı, net işletme sermayesi devir hızı, maddi duran varlık devir hızı, öz kaynak devir hızı) ve kârlılık analizi (vergi öncesi kâr/öz kaynak oranı, aktif kârlılık, esas faaliyet kâr marjı, ekonomik rantabilite oranı, faiz karşılama oranı) sonuçlarına ait yıllık sektör ortalamaları hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çimento sektörü 2015-2020 dönemi finansal analiz sonuçları

| Analiz | Finansal Oran | Standart Oran | İncelenen Dönem | | | | | |
|-----------------------|--|--------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| | | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Likidite Analizi | Cari oran | $\geq 1,80$ | 2,74 | 2,06 | 1,82 | 1,6 | 1,81 | 1,37 |
| | Asit test (likidite) oranı | $\geq 1,00$ | 2,25 | 1,55 | 1,4 | 1,11 | 1,34 | 1,07 |
| | Nakit oranı | $0,20 \leq st \leq 1,00$ | 1,01 | 0,46 | 0,44 | 0,32 | 0,53 | 0,34 |
| | Stok bağımlılık oranı | Yıllık sektör ortalaması | -0,19 | 3,51 | 4,18 | 3,24 | 3,55 | 4,01 |
| | Kısa vadeli alacaklar /aktif toplam oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,18 | 0,19 | 0,22 | 0,18 | 0,16 | 0,17 |
| Finansal Yapı Analizi | Finansal Kaldıraç Oranı | $\leq 0,60$ | 0,31 | 0,36 | 0,39 | 0,43 | 0,44 | 0,51 |
| | Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar / Aktif Toplam Oranı | $\leq 0,30$ | 0,17 | 0,22 | 0,26 | 0,31 | 0,26 | 0,34 |
| | Uzun Vadeli Yabancı Kaynaklar / Aktif Toplam Oranı | $\leq 0,30$ | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,18 | 0,16 |
| | Dönen Varlıklar / Aktif Toplam Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,4 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,38 | 0,4 |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | Maddi Duran Varlıklar / Özkaynak Oranı | $\leq 1,00$ | 0,65 | 0,91 | 0,93 | 1,03 | 1,18 | 1,12 |
| | Özkaynak Oranı | $\geq 0,50$ | 0,69 | 0,64 | 0,61 | 0,57 | 0,56 | 0,49 |
| | Finansman Oranı | $\geq 1,00$ | 3,11 | 2,67 | 2,33 | 1,66 | 1,9 | 1,42 |
| | Alacak Devir Hızı Oranı | $\geq 3,00$ | 3,35 | 3,44 | 3,08 | 3,95 | 4,1 | 4,35 |
| Faaliyet Durum Analizi | Stok Devir Hızı Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 5,54 | 5,43 | 5,79 | 5,51 | 4,85 | 7,12 |
| | Dönen Varlık Devir Hızı Oranı | $1,50 \leq st \leq 2,00$ | 1,47 | 1,62 | 1,63 | 1,59 | 1,58 | 1,61 |
| | Net İşletme Sermayesi Devir Hızı Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 3,47 | 5,71 | 1,11 | 5,48 | 4,14 | 7,51 |
| | Maddi Duran Varlık Devir Hızı Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 1,78 | 1,67 | 1,47 | 1,52 | 1,4 | 1,79 |
| | Özkaynak Devir Hızı Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,83 | 0,86 | 0,99 | 1,1 | 1,06 | 1,34 |
| Kârlılık Analizi | Vergi Öncesi Kâr / Özkaynak Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0 | -0,05 |
| | Aktif Kârlılık Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,1 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,01 | 0,01 |
| | Esas Faaliyet Kâr Marjı Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,2 | 0,19 | 0,16 | 0,26 | 0,07 | 0,06 |
| | Ekonomik Rantabilite Oranı | Yıllık sektör ortalaması | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,08 | 0,09 |
| | Faiz Karşılama Oranı | $\geq 1,00$ | 14,67 | 10,73 | 8,58 | 2,47 | 1,39 | 2,08 |

Firmaların cari oran yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde ekonominin daha stabil olduğu ve inşaat sektörünün daha canlı olduğu dönem olan 2015 yılından 2019 yılına kadar düşüş gösterdiği özellikle pandemi sürecinin başladığı 2020 yılında yıllık sektör ortalamasının 1,80'in altında kaldığı görülmektedir. 2020 yılında cari oranın son 6 yılın en düşük ortalaması olmasının nedeni olarak 2019 yılında başlayan ve 2020 yılında ülkeyi de etkisi altına alan COVID-19 pandemisinin olumsuz etkileri olduğu düşünülmektedir. Firmaların kısa vadeli borçlarının geri ödeme gücünü tespit etmek için cari oranı tamamlayan asit test ve nakit oranlarının hesaplaması da yapılmıştır.

Firmaların asit test oranı yıllık sektör ortalamaları incelenen her dönem için standart değer üzerinde çıkmıştır. İşletmelerde, asit test oranının maksimum olması istenen bir durumdur (Atukalp, 2019). Ayrıca cari oranın 2020 dönemindeki yıllık sektör ortalaması standart değer altındayken, asit test oranının standart değer üzerine çıktığı dikkat çekmektedir. İşletmelerin nakde çevirilmesi daha kolay olan varlıklarının yeterli olduğu ve bu varlıklarla kısa vadeli borçlarını ödemede zorluk çekmeyecekleri söylenebilir.

Firmaların nakit oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde 2015 döneminde standart değeri biraz geçtiği diğer dönemlerde ise 0,20'nin üzerinde olduğu ve 1,00'i geçmediği görülmektedir. Nakit oranı ile işletmelerin kısa vadeli borçlarını ödeme hususunda daha anlamlı ve net sonuçlara ulaşılmaktadır. Genel olarak çimento firmalarının ek finansal önlem almalarına gerek duyulmadığı görünümü ortaya

çıkırsa da pandemi sürecinde firmaların periyodik olarak finansal açıdan takip edilmesi yararlı olacaktır. Firmaların stok bağımlılık oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; oranın 2015 yılı hariç 1,00'in üstünde olduğu görülmektedir. Stok bağımlılık oranının 1,00'in üzerinde olması şirketlerin stoklarının tamamını nakde çevirerek bile kısa vadeli yükümlülüklerini ödeyememe (Kahraman ve Aytekin, 2015) ihtimali olduğunu göstermektedir. Fakat çimento sektörünün sabit giderlerinin fazla olması ve stoklama olanaklarının kısıtlı olmasından kaynaklı olarak bu oranın diğer sektörlere kıyasla çimento sektöründe daha yüksek çıkması normal kabul edilmektedir (Uyar ve Çağlak, 2019). Bu oran asit test oranı ile beraber değerlendirildiğinde; firmaların kısa vadeli borçlarını ödeme konusunda stoklarına bağımlı olmadıkları yorumu yapılabilir. Fakat pandemi sürecinin devam etmesi ve belirsizliğin fazla olması sebebiyle ilerleyen dönemde, çimento işletmelerinin kısa vadeli borçlarını ödeme konusunda stoklara bağımlılığının oluşabileceği düşünülmektedir.

Firmaların kısa vadeli alacaklar/aktif toplam oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; ülkenin ekonomik durumunun iyi olduğu 2015 dönemi ile 2020 döneminin yıllık sektör ortalamasının çok yakın çıktığı görülmektedir. Bu oran incelenen hiçbir dönemde çok yüksek çıkmamıştır, bu durum firmaların tahsilat ile ilgili sorun yaşamadığı ve kısa vadeli alacaklar için kaynak maliyetine katlanmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Çimento sektörünün 2015 öncesi ve sonrası finansal durumunu inceleyen çalışmalarda (Güleç ve Özkan, 2018; Öztürk, 2018) bu çalışmaya paralel olarak incelenen firmaların genel olarak; kısa vadeli borçları ödeme konusunda sıkıntı yaşamadıkları ve yeterli özsermayeye sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca firmaların kısa vadeli borçlarını ödeme konusunda stoklarına bağlı olmadıkları da tespit edilmiştir. Fakat pandemi sürecinin devam etmesi durumunda firmaların ek önlemler almaları gerekebilir.

Firmaların finansal kaldıraç oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; oranın standart değeri geçmediği görülmüştür. Atukalp (2019) çalışmasında bu oranın düşük olmasının olumlu bir durum olduğunu belirtmiştir. Fakat 2015 döneminden 2020 dönemine doğru bir artış olduğu dikkat çekmektedir. Çimento firmalarının incelenen 6 dönem içerisinde borç baskısı altında kalmadıkları fakat pandemi sürecinin devam etmesi durumunda borçlarını arttırmak zorunda kalmalarının ihtimal dahilinde olduğu düşünülmektedir.

Firmaların kısa vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2018 döneminde sektör ortalamasının standart değerinin biraz üzerine çıktığı ancak 2020 döneminde 6 yılın en yüksek seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Çimento firmalarının son dönemde dışarıdan kredi sağlamaya yönelmesinin global krizin olumsuz etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Firmaların uzun vadeli yabancı kaynaklar/aktif toplam oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; tüm dönemlerde standart değerinin altında kaldığı görülmektedir. Firmaların toplam aktifi içinde uzun vadeli yabancı kaynakların çok az olması, çimento firmalarının dışardan kredi sağlarken uzun vadeli borçlara oranla kısa vadeli borçları tercih ettiklerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmaya paralel olarak, 2014-2016 döneminde çimento firmalarının finansal durumunun incelendiği bir çalışmada da,

firmaların dışarıdan kaynak sağlarken UVYK yerine KVYK'yı tercih ettikleri tespit edilmiştir (Orman, 2017). Bu durum, firmalar tarafından KVYK'ların tercih edilmesinin temel sebebi olarak, katlanılan finansal giderlerin daha düşük olması olarak yorumlanmıştır.

Çimento firmalarının kendi kaynaklarının dışarıdan sağlanan yabancı kaynaklara göre daha yüksek olması, yatırım odaklı bankaların çimento firmalarına kredi verme konusunda daha istekli olmalarına sebep olmaktadır.

Firmaların dönen varlıklar/aktif toplam oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından 2020 yılına kadar dalgalı bir yapı sergilediği, 2020 yılında 2019 yılına oranla biraz yükseldiği hatta ekonominin daha stabil olduğu 2015 dönemi ile aynı olduğu görülmektedir.

Firmaların maddi duran varlıklar/özkaynak oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 döneminden 2020 dönemine doğru bir artış olduğu görülmektedir. 2018 yılından itibaren ise standart değer üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bu ise maddi duran varlıkların özsermaye ile finanse edilme oranının arttığı anlamına gelmektedir.

Firmaların özkaynak oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2020 dönemi hariç standart değer altına düşmediği görülmektedir. Birçok çimento firmasının toplam varlıklarında özkaynaklarının kısa ve uzun vadeli borçlarının toplamından daha fazla paya sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmaya paralel olarak, 2014-2016 döneminde çimento firmalarının finansal durumunun incelendiği bir çalışmada da, firmaların özkaynaklarının kısa ve uzun vadeli borçlarından daha fazla olduğunu tespit edilmiştir (Orman, 2017). Bu durumun, çimento sektörünün yatırımcılar tarafından güvenli bulunmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Ancak özkaynak oranının 2020 döneminde standart değer altına düştüğü de dikkat çekmektedir. İlerleyen dönemlerde pandemi sürecinin devam etmesi durumunda bazı firmalar için risklerin ortaya çıkma ihtimali olduğu söylenebilir.

Firmaların finansman oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015-2020 dönemlerinin tümünde standart değer üzerinde olduğu görülmektedir. İncelenen çimento firmalarının; özkaynakları yabancı kaynakların kullanımına oranla tercih ettikleri anlaşılmaktadır. Özkaynakların yabancı kaynaklara oranla fazla olması işletmelerin üçüncü şahıslar baskısı altında kalmayacağını ifade etmektedir. Fakat pandemi sürecinin devam etmesi durumunda firmalar borçlarını arttırmak durumunda kalabileceklerdir. 2020 döneminde firmaların borçları diğer yıllara oranla en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Çimento firmalarının son dönemde borçlanma oranının artmasının temel sebebinin global kriz olduğu düşünülmektedir.

Çimento sektörünün 2015 öncesi ve sonrası finansal durumunu inceleyen çalışmalarda (Orman, 2017; Öztürk, 2018; Atukalp, 2019) bu çalışmaya paralel olarak incelenen firmaların genel olarak; özkaynaklarının borçlarına oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Çimento firmalarının finansal yapısının Türkiye şartları dikkate alındığında güçlü ve dengeli bir yapı sergilediği söylenebilir. Fakat pandemi sürecinin devam etmesi durumunda firmaların ek önlemler almaları gerekebilir.

Firmaların alacak devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; tüm dönemlerde standart değer üzerinde olduğu görülmektedir. Çimento firmalarını 2006-2015 dönemleri için finansal açıdan

değerlendiren bir çalışmada çimento firmalarının alacak devir hızı oranının yıllar itibariyle düşüş trendinde olduğunu belirtilmiştir (Baruti, 2018). Alacak devir hızı oranının 2018 yılından itibaren artışa geçtiği görülmektedir. Bu durum, 2018 yılından itibaren işletmelerin, yeniden alacaklarının tahsili konusunda daha etkin bir hale geldiğini ifade etmektedir.

Firmaların stok devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; dalgalı bir yapıda olduğu görülmüştür. 2020 yılındaki yükselişin ise pandemi kaynaklı kriz ile baş edebilmek için firmaların düşük fiyat politikası tercih etmesi kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Stok devir hızı oranının düşük olduğu firmalarda ise firmada gereğinden fazla stok bulunmasının, satış ve fiyatlandırma konularında veya stok politikalarında sorunlar ile karşı karşıya kalınmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. 2014-2016 döneminde çimento sektörünün finansal olarak incelendiği bir çalışmada, çimento firmalarının stokları tutma sürelerinin diğer sektörlerle oranla daha az olduğu ve bu sebeple daha az stok maliyetine katlandıkları belirtilmiştir. Ayrıca incelenen firmaların kendi aralarında benzer performansa sahip oldukları da ifade edilmiştir (Orman, 2017).

Firmaların dönen varlık devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 dönemi hariç incelenen tüm dönemler standart değeri karşılamaktadır. İncelenen işletmelerin genelinin dönen varlıklarının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Firmaların net işletme sermayesi devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2017 yılında net işletme sermayesi oranının düştüğü fakat daha sonra tekrar yükseldiği gözlenmiştir.

Firmaların maddi duran varlık devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından 2020 yılına kadar dalgalı bir yapı sergilediği görülmektedir. İşletmelerin bireysel performansına bakıldığında bazı oranların yıllık sektör ortalamasının altında kaldığı görülmüştür. Bu durum; firmalarda atıl kapasite olma ihtimalini öne çıkarmaktadır (Babur, 2021). Çalışma kapsamında çimento sektöründe; incelenen 2015-2020 döneminde %45,3'lük atıl kapasite olduğu ile ilgili veriler de bu sonucu destekler niteliktedir (Babur, 2021; Türk Çimento, 2021).

Firmaların özkaynak devir hızı oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından 2020 yılına kadar dalgalı bir yapı sergilediği görülmüştür. Bu değerlerin yüksek olması işletmelerin özkaynaklarını ekonomik ve verimli bir şekilde kullandıklarını göstermektedir.

Çimento sektörünün 2015 öncesi ve sonrası finansal durumunu inceleyen çalışmalarda (Orman, 2017; Öztürk, 2018; Atukalp, 2019) bu çalışmaya paralel olarak incelenen firmaların genel olarak; alacaklarının tahsili konusunda başarılı oldukları ve 2020 dönemi itibariyle pandemi ile başedebilmek için düşük fiyat politikasını tercih ettikleri düşünülmektedir. Ayrıca çimento firmalarının stoklarını tutma sürelerinin diğer sektörlerle göre çok daha az olduğu ve bu nedenle stok maliyetlerine daha az katlandıkları tespit edilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, incelenen firmaların genelinin dönen varlıklarının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Çimento firmalarının faaliyet durumu analizi sonuçları değerlendirildiğinde ise genel olarak olarak birbirlerine benzer performans sergiledikleri görülmüştür (Babur, 2021).

Firmaların vergi öncesi kâr/özkaynak oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından

2020 yılına kadar düşüş eğilimi içerisinde olduğu görülmüştür.

Firmaların aktif karlılık oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından 2020 yılına kadar düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle 2019-2020 dönemlerindeki sert düşüşün ülkedeki ekonomik belirsizlikler ve pandemi kaynaklı global krizin etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Firmaların esas faaliyet kâr marjı oranı ve ekonomik rantabilite oranlarının yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; 2015 yılından 2020 yılına kadar dalgalı bir yapı sergilediği görülmektedir.

Firmaların faiz karşılama oranı yıllık sektör ortalamaları incelendiğinde; tüm dönemlerde standart değer üzerinde oldukları fakat ekonominin daha stabil olduğu 2015 dönemine kıyasla 2020 döneminde oranda ciddi bir düşüş olduğu dikkat çekmektedir.

Çimento sektörünün 2015 öncesi ve sonrası dönemde finansal durumunu inceleyen çalışmalarda (Orman, 2017; Öztürk, 2018) bu çalışmaya paralel olarak 2015-2016 dönemlerinde incelenen firmaların genel olarak; kârlılıklarının standart değerleri karşıladığı ve başarılı oldukları görülmüştür. Fakat; özellikle 2018 yılından itibaren firmaların kârlılık oranlarında yaşanan düşüşler dikkat çekicidir. Ülkede yaşanan ekonomik dalgalanmalar, konut sektöründe yaşanan durgunluk (Çakır, 2020) ve pandemi süreci, inşaat sektörünü de belli oranda olumsuz (Yücel ve Durak, 2021) etkilemiştir. Bununla beraber, pandemi sürecinin sektörlere etkilerinin incelendiği bir çalışmada; inşaat sektörünün perakende ticaret, hizmet ve sanayi sektörlerine göre pandemiden daha az etkilendiği belirlenmiştir (Koyuncu ve Meçik, 2020).

Çalışma kapsamında incelenen 2015-2020 dönemlerinde çimento sektörünün pek çok sektöre göre pandemi sürecinden daha az etkilendiği, bununla beraber, pandemi sürecinin devam etmesi durumunda firmaların ek önlemler almaları gerektiği düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada inşaat sektörüne girdi sağlayan en önemli sektörlerden birisi olan çimento sektörünün finansal açıdan değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmaya BİST’de işlem gören 16 adet çimento şirketi dahil edilmiştir. Çalışmada çimento şirketlerinin 2015-2020 yıllarına ait dönem sonu bilanço ve gelir tablolarından yararlanılmıştır. Şirketlerin finansal verilerine KAP aracılığıyla erişilmiştir. Çalışmada çimento şirketlerinin finansal verileri yıllık olmak üzere 6 dönem olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada çimento firmalarının finansal durumu değerlendirilirken literatürde yaygın kullanılan finansal oranlar seçilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen 16 firmanın 23 oran için yıllık sektör ortalamaları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak çimento sektörü ile ilgili genel değerlendirme yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2015-2020 dönemi için çimento sektörü ile ilgili yapılan genel tespitlere göre firmalar;

- kısa vadeli borçları ödeme konusunda sıkıntı yaşamamakta ve yeterli özsermayeye sahip bulunmakta,
- dışarıdan kredi sağlarken uzun vadeli krediler yerine kısa vadeli kredileri tercih etmekte,

- kısa vadeli borçları ödemekte stoklarına bağlı bulunmamakta,
- özkaynakları borçlarına oranla daha fazla bulunmakta,
- stoklarını tutma süreleri diğer sektörlerle göre daha az olmakta ve bu nedenle stok maliyetlerine daha az katlanmakta,
- dönen varlıkları yeterli görünmektedir.
- Ayrıca, genel olarak çimento firmalarının alacaklarının tahsili konusunda istikrarlı bir yapı sergilediği düşünülmektedir.
- Türkiye şartları dikkate alındığında, çimento firmalarının finansal açıdan güçlü ve dengeli bir yapı sergilediği söylenebilir.

Tüm olumlu göstergelere rağmen çalışmada incelenen firmaların ekonominin daha stabil olduğu 2015 dönemine kıyasla 2020 döneminde borçlanma miktarlarında ve stok bağılıklarında artış olduğu tespit edilmiştir.

Pandemi sürecinde kamu bankaları tarafından sağlanan uzun vadeli krediler firmaların borç ödeme güçlerini arttırmış ve firmaların rahatlatmasına sebep olmuştur. Fakat pandemi sürecinin devam etmesi durumunda firmaların ek önlemler almaları gerekmektedir. Aşağıda çimento firmaları için genel öneriler sunulmuştur. Bu önlem ve önerilere ek olarak farklı sektörlerin pandemi ile ilgili yapmış olduğu uygulamaların incelenmesi ve kıyaslama yapılması, uygulamacıların daha geniş bir perspektiften bakmalarına yardımcı olacaktır. Belirtilen bu önlem ve öneriler uygulanmadan önce; detaylı bir finansal analiz yapılması, firma ve ülke koşulları doğrultusunda esnek bir strateji belirlenerek, harekete geçilmesi önerilmektedir.

- COVID-19 pandemisinin etkilerini azaltmak için firmaların nakit varlıklarının yönetimine dikkat etmeleri önerilmekte; firmaların nakit akış süreçlerini gözden geçirmeleri ve periyodik olarak durum değerlendirmesi yapmaları gerekmektedir.
- Firmaların yapacağı finansal değerlendirmeler; ticari aktivitelerini, finansal performansını ve mali durumunu kapsamalı, ülkenin ekonomik verileri göz önünde tutularak yorumlanmalıdır.
- Finansal analizler göz önüne tutularak, gerekli durumlarda; firmaların kâr dağıtımlarını tekrar düzenlemesi ya da kanuni yedek akçelerin kullanımları ile ilgili yeniden planlama yapmaları söz konusu olabilir.
- Ayrıca; firmaların pandemi sürecinde ek kredi kullanmaları finansal açıdan rahatlamalarını sağlayabilir.
- Satış vadelerinin kısaltılması gibi satış politikası değişiklikleri yapılabilir ya da pandemi şartlarını göz önünde bulundurarak tedarik zinciri konusunda yeniden düzenleme yapılması gerekebilir.
- Ekonomik kriz sebebiyle daralan iç pazar payı, yurt dışında yapılacak yeni anlaşmalar ile dengelenebilir.

- Pandemi sürecinde hükümet tarafından alınan önlemlerin ve verilen yardım paketlerinin dikkatle takip edilmesi gerekmektedir.
- Firmaların bu zor süreci daha rahat atlatabilmesi için finansal danışmanlık almaları ve bir eylem planı oluşturmaları faydalı olacaktır.

Teşekkür

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca, bana maddi destek sağlayan Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluğu Başkanlığı'na (YTB) teşekkürlerimi sunuyorum.

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

- Akbulut R., Rençber ÖF. Veri zarflama ve lojistik regresyon analizi ile çimento işletmelerinde finansal performansa dayalı etkinliklerin değerlendirilmesi. Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi 2015; 7(3): 91-103.
- Atukalp ME. Borsa İstanbul'da işlem gören çimento firmalarının finansal performansının analizi. Muhasebe ve Finansman Dergisi 2019; 81: 213-230.
- Babur AR. Türk çimento üreticilerinin 2015-2020 yılları arasında finansal açıdan değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 2021.
- Baruti K. BİST'de işlem gören çimento şirketlerinin 2006-2015 dönemi finansal performanslarının analizi. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Edirne, Türkiye, 2018.
- Çakır M. Mortgage krizi çerçevesinde Türkiye'deki konut sektörünün incelenmesi. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Edirne, Türkiye, 2020.
- Çanakçıoğlu M. Borsa İstanbul'da işlem gören çimento firmalarının entropi-entropi bütünlük yaklaşımı ile finansal performanslarının değerlendirmesi. Journal of Yasar University 2019; 14(56): 407-421.
- Ege İ., Yaman S. TOPSIS ve MOORA yöntemleri ile ölçülen finansal performansın pay getirilerine etkisi: BİST çimento beton işletmeleri üzerine bir panel veri uygulaması. Al-Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi 2018; 2(1): 75-96.
- Ertaş FC., Peşmen S. İnşaat sektöründe finansal performansın ölçümüne yönelik bir uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 2020; 34(4): 1333-1350.
- Erdiş E. Kriz yönetimi yaklaşımının Türk inşaat sektöründe algılanma ve uygulanma düzeyi konuya

- yönelik bir model önerisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, Türkiye, 2004.
- Gerek İH., Erdiş E., Yakut, E. Finansal performansa dayalı etkinlik ölçümü: çimento sektörü uygulaması. NWSA-Engineering Sciences 2012; 7(1): 311-321.
- Genç O. The social and economic impacts of novel coronavirus pandemic on construction sector and its professionals. Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering 2021; 36(2): 317-329.
- Güleç ÖF., Özkan, A. Gri ilişkisel analiz yöntemi ile finansal performansın değerlendirilmesi: BİST çimento şirketleri üzerine bir araştırma. Muhasebe ve Denetime Bakış 2018; 18(54): 77-96.
- Güllüoğlu EN., Güllüoğlu AN. Türk inşaat sektöründe istihdam ve iş kazalarının analizi. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi 2019; 3(2): 65-81.
- Gümüş UT., Şakar Z., Akkın G., Şahin M. Finansal analizde kullanılan oranlar ve firma değer ilişkisi: BİST’de işlem gören çimento firmaları üzerine bir analiz. Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi 2017; 9(16): 1-23.
- Kahraman E., Aytakin S. BIST gayrimenkul yatırım ortaklıkları endeksindeki (XGMYO) şirketlerin finansal etkinliklerinin veri zarflama analizi yöntemi ile değerlendirilmesi. Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Fakültesi Dergisi 2015; 8(1): 289-301.
- KAP. Kamuyu Aydınlatma Platformu, İstanbul. www.kap.org.tr. (Erişim tarihi: 01.04.2021).
- Koyuncu T., Meçik O. COVID-19 pandemisinin Türkiye’de ekonomik büyümeye sektörel ve sektörler arası etkileri. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi 2020; 18(4): 112-131.
- Orman F. Türkiye’de çimento sektöründe finansal tablo analizi ve büyüme trendleri. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- Öztürk B. BİST’de çimento sektöründeki işletmelerin finansal performansları üzerine karşılaştırmalı bir uygulama. İstanbul Okan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- Sakarya S., Akkuş HT. Finansal performansın ölçülmesinde geleneksel oranlar ile nakit akım oranlarının karşılaştırmalı analizi: BİST çimento şirketleri üzerinde TOPSIS yöntemi ile bir uygulama. AKÜ İİBF Dergisi 2015; 17(1): 109-123.
- Sarkhosh YAM. Evaluation of Turkish cement exports in terms of PESTEL analysis between 1999-2020. Cukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences MSc Thesis, Adana, Türkiye, 2021.
- Saygılı EE., Şahin Y. Finansal performans ile hisse senedi yatırımcı kararları arasındaki ilişki: BIST çimento sektöründe TOPSIS uygulaması. İzmir Democracy University Social Sciences Journal 2018; 1(1): 16-45.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 14.03.2021).
- Türk Çimento. Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği, Ankara. www.turkçimento.org.tr. (Erişim Tarihi: 15.06.2021).

Url – 1: Çimento Sektörü Raporu, 2021. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/sector_raporlari/mu0102011404
(Erişim Tarihi: 08.02.2022).

Uzunkaya M. Uluslararası rekabet edebilirlik çerçevesinde Türk inşaat sektörünün yapısal analizi.
Ankara: TC Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü 2013.

Uyar U., Çağlak E. Çimento sektörü açısından sistematik risk – finansal oran ilişkisi: ana çimento üreticisi ülkeler karşılaştırması. Muhasebe ve Finansman Dergisi 2019; 81: 231-248.

Yücel S., Durak İ. COVID-19'un BIST imalat sektörü firmalarına olan finansal etkilerinin finansal oranlar ve istatistiksel tekniklerle incelenmesi. Muhasebe ve Finansman Dergisi 2021; 90: 101-126.

Sodyum Silikat Enjeksiyonlarında Sodyum Silikat Oranı, Viskozite, Sinerez ve Jelleşme Zamanları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Eray YILDIRIM^{1*}, Eyübhan AVCI²

^{1,2} Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16330, Bursa

¹ <https://orcid.org/0000-0002-5134-0625>

² <https://orcid.org/0000-0001-7206-0158>

*Sorumlu yazar: eray.yildirim@btu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.03.2022

Kabul tarihi: 12.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Sinerez

Viskozite

Enjeksiyon

Sodyum Silikat

ÖZ

Bu çalışmada sodyum silikat enjeksiyonlarında kullanılan sodyum silikat oranı, sinerez, jelleşme süresi ve viskozite parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, 56 farklı oranda hazırlanmış sodyum silikat ve formamit karışımları için sinerez yüzdesi, viskozite ve jelleşme sürelerine ait veriler elde edilmiştir. Solüsyonların viskozite değerleri karışım öncesinde hesaplanmış ve belirli sürelerde gözlemler yapılarak solüsyonların jelleşme süresi tespit edilmiştir. Jelleşme süreleri belirlenmiş olan solüsyonların zamana bağlı olarak 1, 3, 5, 12, 15, 180 ve 720. günlerde sinerez yüzdeleri bulunmuştur. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, sinerez yüzdesinin tahminine yönelik modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan toplam 21 modelde girdi olarak sodyum silikat/toplam solüsyon oranı, viskozite ve jelleşme süresi çıktı olarak ise sinerez kullanılmıştır. Modeller lineer ve nonlineer (üstel ve eksponansiyel) fonksiyonlardan oluşmaktadır. Sinerez değerinin tahmini için oluşturulan tüm modeller oldukça iyi performans göstermiştir. En düşük tahmin performansını 1 günlük sinerez değerleri gösterirken diğer sinerez değerlerinde daha iyi tahmin performansı elde edilmiştir. İkinci aşamada ise solüsyonların viskozite değerlerinin tahmini için modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada girdi olarak sodyum silikat/toplam solüsyon oranı çıktı olarak ise viskozite değeri kullanılmıştır. İlgili verilerin dağılımı nonlineer özellik gösterdiğinden dolayı üstel fonksiyon kullanılmıştır. Çalışmada geliştirilen model viskozite değerinin tahmini için oldukça iyi performans göstermiştir.

Investigation of the Relationship Between Sodium Silicate Content, Viscosity, Syneresis and Gelling Times in Sodium Silicate Grouts

Research Article

Article History:

Received: 24.03.2022

Accepted: 12.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Syneresis

Viscosity

Grouting

Sodium Silicate

ABSTRACT

In this study, the relationship between sodium silicate ratio, syneresis, gelling time and viscosity data used in sodium silicate injections was investigated. For this purpose, gelling time, viscosity and percentage of syneresis were obtained for sodium silicate and formamide mixtures prepared in 56 different ratios. The viscosity values of the solutions were calculated before mixing and the gelling time of the solutions was determined by making observations at certain times. Syneresis percentages of the solutions were found on days 1, 3, 5, 12, 15, 180, and 720th depending on time. The study consists of two stages. In the first stage, models were created for the estimation of the percentage of syneresis. In a total of 21 models created, sodium silicate/solution ratio, viscosity and gelling time were used as inputs, and syneresis was used as output. The models consist of linear and nonlinear

(power and exponential) functions. All models created for the estimation of syneresis value performed quite well. While 1-day syneresis values showed the lowest estimation performance, better estimation performance was obtained in other syneresis values. In the second stage, models were created for the estimation of the viscosity values of the solutions. At this stage, sodium silicate/total solution ratio was used as input and viscosity value was used as output. Since the distribution of the data is nonlinear, the exponential function is used. The model developed in the study performed quite well for the estimation of the viscosity value.

To Cite: Yıldırım E., Avcı E. Sodyum Silikat Enjeksiyonlarında Sodyum Silikat Oranı, Viskozite, Sinerez ve Jelleşme Zamanları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 235-251.

1. Giriş

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirmesinde zemin enjeksiyonları yaygın olarak kullanılmaktadır (Shroff ve Shah, 1999; Markou ve Droudakis, 2013). Enjeksiyon işlemi zemin ve/veya kaya içindeki boşluklara seçilen enjeksiyon malzemesinin belirli basınç altında zerk edilmesi olarak tanımlanabilmektedir (Karol, 2003; Guyer, 2015). Zemin ve/veya kaya içindeki çatlak ve boşluklar içine yerleşen enjeksiyon malzemesi zamanla sertleşmekte ve zeminin mühendislik özellikleri iyileşmektedir. Zemin enjeksiyonları, baraj tabanlarının geçirimsizliklerinin oluşturulmasında, kazılarda, şev stabilitelerinde, tünellerde, sıvılaşma potansiyeline sahip zeminlerin iyileştirilmesinde, zeminlerin taşıma gücünün artırılmasında, oturmaların azaltılmasında ve yer altı suyunun kontrolünde kullanılmaktadır (Hausman, 1990).

Permeasyon enjeksiyonu zemin enjeksiyonları içerisinde en yaygın kullanılan enjeksiyon türüdür. Permeasyon enjeksiyonlarında enjeksiyon malzemesi düşük basınçlarda zeminlerde herhangi örseleme veya hidrolik kırılma yapmadan boşluklara enjekte edilmektedir (Henn, 1996). Permeasyon enjeksiyonu uygulamalarında kimyasal enjeksiyonlar sıkça kullanılmaktadır. Kimyasal enjeksiyonlar kendi içlerinde Akrilamid, Lignosülfonat, Fenolplastlar, Aminoplastlar ve Silikatlardan olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadır. Kimyasal enjeksiyon malzemeleri ile zeminler üzerinde birçok enjeksiyon çalışması yapılmıştır. Anagnostopoulos (2005) polimer enjeksiyon malzemesi ile ince ve orta kumlar üzerinde enjeksiyon denemeleri yapmış ve polimer enjeksiyon malzemesinin ince ve orta kum boyutunda malzemelere penetre olduğunu görmüştür. Yine Anagnostopoulos ve ark. (2011) kimyasal enjeksiyon malzemeleri ile kum zeminler üzerinde yaptıkları enjeksiyon deneyleri ile zeminin dayanım değerlerinin arttığını, permeabilite ve porozite değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Holmboe ve ark. (2011) silika içine katılan bentonit katkısının zeminin dayanım değerlerini artırdığını belirlemişlerdir. Bodocsi ve Bowers (1991) silikat enjeksiyonları ile enjeksiyon yapılmış kum zeminlerin permeabilite değerlerinin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Porcino ve ark. (2016) kumlar üzerinde silikat kökenli enjeksiyonlar kullanarak yaptıkları enjeksiyon çalışmalarında enjeksiyon sonrası zeminlerin dayanım değerlerinin arttığını, geçirgenlik özelliklerinin azaldığını görmüşlerdir. Warner (1972), Diefenthal ve ark. (1979), Clough ve ark. (1979), Tan ve Clough (1980), Kagave Yonekura (1991), Ata ve Vipulanandan (1998) silikat kökenli enjeksiyon malzemeleri ile kum

zeminler üzerinde enjeksiyon deneyleri yapmışlar ve enjeksiyon sonrası kum zeminlerin dayanım değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Phan (2014) sodyum silikat ve çimento kullanarak kum zeminlere enjeksiyon deneyleri yapmış ve enjeksiyon sonrası zeminin sıvılaşıma direncinin arttığını belirtmiştir. Kimyasal enjeksiyon malzemeleri içinde Silikatlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Silikatlar da kendi içinde metil silikatlar, silikon esterler, florosilikatlar ve sodyum silikatlar olmak üzere alt gruplara ayrılmaktadırlar. Bu alt gruplar içinde yer alan sodyum silikatlar bazik karakterdedir ve herhangi bir formdaki silikanın (Na_2CO_3) 900°C 'de ısıtılarak tabii tutulması ile hazır hale gelmektedir. Solüsyon halinde elde edilen sodyum silikat su ile seyreltilerek istenen konsantrasyonlar elde edilir (Clifton, 1986). Bazik karakterde olan Sodyum Silikatın içerisine zayıf bir asit veya tuz asiti reaktant olarak katılarak nötrleşme işlemi gerçekleştirilmektedir. Nötrleşme sonucunda hazırlanmış olan solüsyon jelleşerek katılaştır. Hazırlanmış olan solüsyonların zemin enjeksiyonlarında kullanılabilmesi için reolojik özelliklerinin iyi olması gerekir. Kimyasal enjeksiyon uygulamalarında reolojik özellik belirlemek amacıyla solüsyonlar üzerinde sinerez yüzdesi, viskozite ve jelleşme sürelerini belirleme deneyleri yapılmaktadır.

Jelleşme süresi, enjeksiyon malzemesinin akışkanlığını kaybedip katılaşmaya başladığı zamana kadarki geçen süreyi ifade eder. Kimyasal enjeksiyon malzemesinde hazırlanmış olan karışımın istenen noktaya ulaşmadan jelleşmesi istenmez (Hausman, 1990). Jelleşme süreleri karışım içine katılan sodyum silikat, reaktant ve su oranları ile kontrol edilebilmektedir. Jelleşen enjeksiyon malzemesi hızla mukavemet kazanır ve jelleşmenin başladığı zaman ile nötrleşme reaksiyonunun tamamlandığı zaman arasında kalan süre kür dönemi olarak isimlendirilir (USA Army Corps of Engineers, 1995). Jelleşen karışım zamana bağlı olarak hacim küçülmesi yaparak büzülür ve ortama su kusar bu olaya sinerez denilmektedir. Sinerez yüzdesi kusulan su hacminin jelin ilk hacmine bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Verfel, 1989). Jel içindeki suyun çıkışı silanol gruplarının siloksan bağlarına dönüşmesiyle oluşmaktadır. Sinerezin oluşumunu etkileyen ana faktörler karışım içerisindeki SiO_2 oranı ve nötrleşme derecesidir (Verfel, 1989). Enjeksiyon yapılmış zeminlerin mühendislik özellikleri üzerinde sinerezin olumsuz etkileri bulunmaktadır. Sinerez yüzdesi arttıkça permeabilite artarken dayanım değerleri azalmaktadır.

Viskozite sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır (USA Army Corps of Engineers, 1995). Kimyasal enjeksiyon malzemelerinde enjekte edilebilirliği etkileyen en önemli parametrelerden biri viskozitedir. Viskozitenin azalması ile enjekte edilebilirlik artmaktadır. Karol (2003) viskozite değeri 2 cP nin altında olan kimyasal enjeksiyon malzemeleri ile permeabilitesi 10^{-4} cm/s olan zeminlere kadar enjeksiyon yapılabileceğinden bahsetmiştir. Viskozite değeri 5 cP civarında olan enjeksiyon malzemelerinin de permeabilite değeri 10^{-3} cm/s den daha büyük olan zeminlere enjekte edilebileceğini ifade etmiştir. Ayrıca Silikat kökenli enjeksiyonlarda permeabilite değeri 10^{-2} cm/s den az olan zeminlere enjeksiyon yapılamayacağından da bahsetmiştir.

Bu çalışmada sodyum silikat kökenli enjeksiyonlarda sodyum silikat oranı, sinerez, jelleşme süresi ve viskozite arasındaki ilişki araştırılmıştır. İlk olarak farklı karışım oranlarında hazırlanmış sodyum

silikat ve formamit karışımları için sinerez, viskozite ve jelleşme sürelerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra deney sonuçları kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış ve sodyum silikat oranı, sinerez yüzdesi, jelleşme süresi ve viskozite arasındaki ilişki incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada farklı karışım oranlarında hazırlanmış sodyum silikat ve formamit karışımları için jelleşme süresi, sinerez ve viskozite değerlerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Jelleşme süresinin belirlenmesine yönelik testlerde öznel gözlemlerden yararlanılmış ve her bir sodyum silikat ve formamit karışımları için jelleşme süreleri belirlenmiştir. Ağzı kapalı dereceli plastik kaplar (100 ml) içine yerleştirilen solüsyonun akışkanlığını kaybedip katılaştığı ana kadarki geçen süre jelleşme süresi olarak alınmıştır (Şekil 1). Sodyum silikat ve formamit karışımlarının viskozitelerinin belirlenmesinde Brookfield DV-III Ultra rheometre cihazı kullanılmıştır. Viskozite ölçümleri hemen karışım sonrası hazırlanmış solüsyonlar üzerinde ASTM D2196 (2015)'te belirtilen standartlara göre yapılmıştır. Jelleşme süresi tamamlanan sodyum silikat ve formamit karışımları üzerinde zamana bağlı olarak 1, 3, 5, 12, 15, 180 ve 720. günlerde sinerez ölçümleri yapılmıştır. Sinerez yüzdesi ölçümleri ağzı kapatılmış dereceli kaplar içinde bekletilen ve jelleşmiş solüsyonlar üzerinde yapılmıştır. Jelleşmiş sodyum silikat formamit karışımlarında zamanla kusan su miktarları belirlenmiş ve sinerez yüzdeleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Sodyum silikat formamit solüsyonlarında jelleşme sürelerinin gözlemlenmesi

3. Bulgular ve Tartışma

56 farklı karışım oranında hazırlanmış olan sodyum silikat ve formamit karışımlarının viskozite değerleri, jelleşme süresi ve sinerez yüzdeleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde Sodyum silikat/Solüsyon yüzdesinin artması ile viskozite değerlerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 1. Sodyum silikat formamit karışımlarının jelleşme süresi, viskozite ve sinerez yüzdesi test sonuçları

| Sıra No | Sodyum Silikat / Toplam solüsyon (%) | VİSKOZİTE (cP) | JELLEŞME SÜRESİ(dakika) | SİNEREZ (%) | | | | | | | |
|---------|--------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|--|
| | | | | 1 Günlük | 3 Günlük | 5 Günlük | 12 Günlük | 15 Günlük | 180 Günlük | 720 Günlük | |
| 1 | 83 | 10,37 | 125 | 5,13 | 14,53 | 17,40 | 21,19 | 21,38 | 22,17 | 22,29 | |
| 2 | 81 | 9,48 | 65 | 5,14 | 14,95 | 17,57 | 21,25 | 21,71 | 25,98 | 26,10 | |
| 3 | 77 | 8,65 | 5 | 5,61 | 17,44 | 19,32 | 23,16 | 23,48 | 28,43 | 28,63 | |
| 4 | 73 | 7,99 | 185 | 5,35 | 15,14 | 17,68 | 21,38 | 22,14 | 26,42 | 26,94 | |
| 5 | 72 | 7,21 | 102 | 5,38 | 15,25 | 17,81 | 21,41 | 22,35 | 26,58 | 26,99 | |
| 6 | 68 | 6,25 | 29 | 5,73 | 18,21 | 19,80 | 25,50 | 25,78 | 28,80 | 28,86 | |
| 7 | 67 | 5,79 | 632 | 5,33 | 15,33 | 16,54 | 19,90 | 22,29 | 25,75 | 26,32 | |
| 8 | 65 | 5,13 | 352 | 5,40 | 15,37 | 18,06 | 21,54 | 22,78 | 26,27 | 26,50 | |
| 9 | 64 | 4,28 | 226 | 5,70 | 15,79 | 18,21 | 22,36 | 22,97 | 27,21 | 27,39 | |
| 10 | 62 | 4,21 | 60 | 5,75 | 15,81 | 18,28 | 22,86 | 24,04 | 27,31 | 27,45 | |
| 11 | 61 | 4,13 | 56 | 5,94 | 18,70 | 20,72 | 26,52 | 26,81 | 29,77 | 29,91 | |
| 12 | 58 | 4,04 | 50 | 6,11 | 21,92 | 22,92 | 27,64 | 27,92 | 30,50 | 30,69 | |
| 13 | 56 | 3,99 | 1 | 6,40 | 22,01 | 26,40 | 29,07 | 29,33 | 30,55 | 30,72 | |
| 14 | 54 | 3,90 | 1 | 8,97 | 23,08 | 27,95 | 31,28 | 32,05 | 32,54 | 32,62 | |
| 15 | 57 | 3,84 | 923 | 14,70 | 24,60 | 26,13 | 29,24 | 31,49 | 35,08 | 35,81 | |
| 16 | 56 | 3,76 | 408 | 14,75 | 24,65 | 27,28 | 30,77 | 32,01 | 35,46 | 35,92 | |
| 17 | 55 | 3,69 | 255 | 14,82 | 24,85 | 27,33 | 31,48 | 32,03 | 36,27 | 36,52 | |
| 18 | 53 | 3,45 | 156 | 14,92 | 24,99 | 27,48 | 31,68 | 32,92 | 37,15 | 37,35 | |
| 19 | 52 | 3,31 | 118 | 15,01 | 27,33 | 29,30 | 35,28 | 35,48 | 38,52 | 38,70 | |
| 20 | 50 | 3,18 | 84 | 15,11 | 30,31 | 31,31 | 35,92 | 36,31 | 38,86 | 39,08 | |
| 21 | 48 | 2,92 | 5 | 15,23 | 30,46 | 34,43 | 37,04 | 37,39 | 38,99 | 39,55 | |
| 22 | 46 | 2,71 | 2 | 16,74 | 30,85 | 35,69 | 39,05 | 39,79 | 40,28 | 40,33 | |
| 23 | 48 | 2,54 | 1215 | 11,46 | 21,37 | 23,02 | 26,13 | 28,38 | 31,81 | 32,57 | |
| 24 | 46 | 2,36 | 545 | 11,55 | 21,45 | 24,26 | 27,75 | 28,86 | 32,44 | 32,69 | |
| 25 | 45 | 2,15 | 367 | 11,85 | 21,88 | 24,27 | 28,24 | 28,97 | 33,15 | 33,42 | |
| 26 | 44 | 2,11 | 225 | 11,99 | 21,92 | 24,41 | 28,79 | 29,94 | 33,35 | 33,49 | |
| 27 | 43 | 2,07 | 168 | 12,05 | 24,46 | 26,38 | 32,41 | 32,55 | 35,68 | 35,80 | |
| 28 | 42 | 2,03 | 100 | 12,25 | 27,56 | 28,56 | 33,17 | 33,47 | 36,14 | 36,31 | |
| 29 | 40 | 1,99 | 53 | 12,31 | 27,75 | 31,81 | 34,27 | 34,96 | 36,35 | 36,56 | |
| 30 | 38 | 1,91 | 35 | 14,21 | 28,26 | 33,15 | 36,51 | 37,26 | 37,74 | 37,87 | |
| 31 | 38 | 1,87 | 1338 | 2,01 | 11,78 | 13,30 | 16,57 | 18,92 | 22,38 | 23,14 | |
| 32 | 37 | 1,85 | 698 | 2,16 | 12,22 | 15,03 | 18,46 | 19,54 | 23,30 | 23,49 | |
| 33 | 36 | 1,82 | 425 | 2,82 | 12,94 | 15,24 | 19,24 | 19,91 | 24,12 | 24,39 | |
| 34 | 35 | 1,80 | 288 | 2,86 | 13,07 | 15,38 | 20,00 | 21,15 | 24,32 | 24,45 | |
| 35 | 35 | 1,79 | 235 | 3,04 | 15,83 | 17,71 | 23,74 | 23,88 | 27,01 | 27,16 | |
| 36 | 34 | 1,77 | 197 | 3,56 | 19,74 | 21,03 | 25,53 | 25,84 | 28,60 | 28,75 | |
| 37 | 33 | 1,75 | 163 | 4,06 | 20,19 | 24,86 | 27,42 | 28,17 | 28,92 | 28,97 | |
| 38 | 32 | 1,73 | 112 | 6,77 | 21,39 | 26,48 | 29,97 | 30,75 | 31,25 | 31,39 | |
| 39 | 31 | 1,71 | 53 | 6,79 | 21,48 | 27,19 | 30,05 | 31,19 | 31,38 | 31,85 | |
| 40 | 29 | 1,69 | 1492 | 0,63 | 3,78 | 7,14 | 7,78 | 8,83 | 8,92 | 8,98 | |
| 41 | 28 | 1,68 | 822 | 1,08 | 3,85 | 7,19 | 7,85 | 8,93 | 8,99 | 9,04 | |
| 42 | 27 | 1,67 | 578 | 1,24 | 3,97 | 7,36 | 7,89 | 9,06 | 9,55 | 9,76 | |
| 43 | 27 | 1,63 | 297 | 1,51 | 4,19 | 7,58 | 8,23 | 9,20 | 10,02 | 10,18 | |
| 44 | 26 | 1,59 | 241 | 1,68 | 4,49 | 7,86 | 8,29 | 9,77 | 10,05 | 10,23 | |
| 45 | 26 | 1,55 | 226 | 1,85 | 4,81 | 8,01 | 8,35 | 9,83 | 10,23 | 10,37 | |
| 46 | 25 | 1,51 | 190 | 2,06 | 5,03 | 8,14 | 8,53 | 9,95 | 10,44 | 10,58 | |
| 47 | 24 | 1,45 | 138 | 2,37 | 5,52 | 8,75 | 9,84 | 10,27 | 10,64 | 10,77 | |
| 48 | 23 | 1,42 | 83 | 2,69 | 5,85 | 8,95 | 9,87 | 10,38 | 11,18 | 11,31 | |
| 49 | 17 | 1,37 | 301 | 0,69 | 2,47 | 2,75 | 2,92 | 3,08 | 3,42 | 3,56 | |
| 50 | 16 | 1,34 | 291 | 0,85 | 2,64 | 2,88 | 3,12 | 3,28 | 3,65 | 3,76 | |
| 51 | 15 | 1,31 | 195 | 1,21 | 3,03 | 3,10 | 3,38 | 3,72 | 4,13 | 4,33 | |
| 52 | 8 | 1,27 | 317 | 0,53 | 1,31 | 1,64 | 1,75 | 2,08 | 2,44 | 2,50 | |
| 53 | 8 | 1,23 | 304 | 0,64 | 1,68 | 2,08 | 2,27 | 2,43 | 2,72 | 2,75 | |
| 54 | 8 | 1,18 | 261 | 0,74 | 1,74 | 2,10 | 2,28 | 2,44 | 2,85 | 2,92 | |

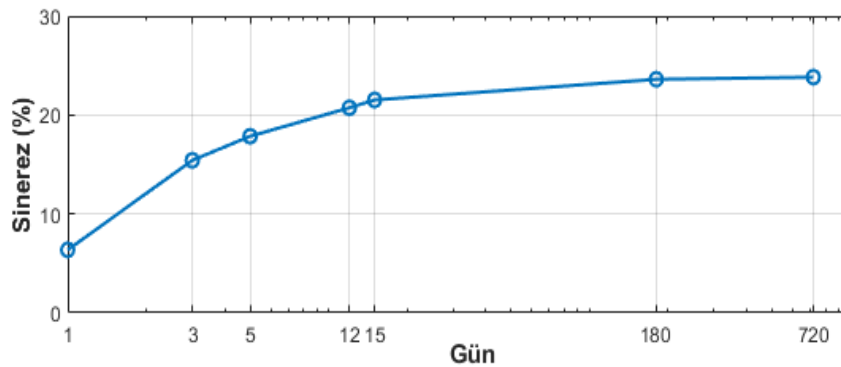
| Sıra No | Sodyum Silikat / Toplam solüsyon (%) | VİSKOZİTE (cP) | JELLEŞME SÜRESİ(dakika) | SİNEREZ (%) | | | | | | |
|---------|--------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | | | | 1 Günlük | 3 Günlük | 5 Günlük | 12 Günlük | 15 Günlük | 180 Günlük | 720 Günlük |
| 55 | 7 | 1,15 | 173 | 0,86 | 1,95 | 2,13 | 2,32 | 2,79 | 2,92 | 2,98 |
| 56 | 7 | 1,13 | 162 | 1,01 | 2,03 | 2,21 | 2,36 | 2,83 | 2,97 | 3,05 |

Tablo 2’de sinerez değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Sinerez değerlerinin ortalaması ise Şekil 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Sinerez değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri

| Gün | Minimum | Maksimum | Ortalama |
|------------------------|---------|----------|----------|
| 1 Günlük Sinerez (%) | 0,53 | 16,74 | 6,37 |
| 3 Günlük Sinerez (%) | 1,31 | 30,85 | 15,41 |
| 5 Günlük Sinerez (%) | 1,64 | 35,69 | 17,85 |
| 12 Günlük Sinerez (%) | 1,75 | 39,05 | 20,73 |
| 15 Günlük Sinerez (%) | 2,08 | 39,79 | 21,52 |
| 180 Günlük Sinerez (%) | 2,44 | 40,28 | 23,61 |
| 720 Günlük Sinerez (%) | 2,50 | 40,33 | 23,82 |

Tablo 2 ve Şekil 2 incelendiğinde sinerez yüzdelerinin zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir. Özellikle 3. güne kadar sinerez hızla artarken 3. günden sonra artım miktarında yavaşlama eğilimi göstermiş 180. günden sonrada nihai değerine ulaşmıştır.



Şekil 2. Enjeksiyon malzemelerinin sinerez değerlerinin ortalaması

Gün bazlı sinerez yüzdelerini tahmin etmek için sodyum silikat / toplam solüsyon, viskozite ve jelleşme süresi parametreleri kullanılmıştır. Tahmin için lineer, üstel ve eksponansiyel fonksiyonlar kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her üç fonksiyon için 7 tane (1, 3, 5, 12, 15, 180 ve 720. günlük sinerez değerleri çıktı olmak üzere) toplamda 21 tane model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin tahmin performansını değerlendirmek amacıyla belirlilik katsayısı (R^2) ve Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) kriterleri kullanılmıştır. Gözlenen değerler aynı birim olmasına karşın farklı günlerdeki sinerez değerlerinin incelenmesinden dolayı değerler arasında önemli derecede nicelik farkı bulunmaktadır. Bu durumun istatistiksel olarak yanılığa sebep olabileceğinden dolayı RMSPE yaklaşımı kullanılmıştır. RMSPE ile tahmin doğruluğu daha tutarlı bir şekilde

değerlendirilmiştir. RMSPE değeri ölçekten bağımsız olup yüzde olarak ifade edilmektedir. Tahmin edilen değerler gerçek değerlere çok yakınsa RMSPE değeri küçük, buna karşın tahmin ile gerçek değerler arasında fark büyük ise RMSPE değeri daha büyük olacaktır. RMSPE değerinin sıfıra yakın olması tahmin sonuçlarının daha doğru olduğunu göstermektedir (Timbers ve ark., 2022; Buturac, 2022). RMSPE değerinin hesaplanması için denklem 1’de görülen işlem kullanılmaktadır (Vaheddoost ve ark., 2021). Denklemden görüleceği üzere RMSPE yüzde olarak ifade edilmektedir.

$$RMSPE = \frac{1}{\mu_x} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N}} \times 100 \quad (1)$$

Bu denklemde μ_x ; gözlem verilerinin ortalamasını, x_i ; gözlem değerlerini, y_i ; tahmin değerlerini ve N ise gözlem sayısını ifade etmektedir. Lineer modeller için hesaplanan regresyon katsayıları, R^2 ve RMSPE değerleri Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 3’te L-1; 1 günlük, L-2; 3 günlük, L-3; 5 günlük, L-4; 12 günlük, L-5; 15 günlük, L-6; 180 günlük ve L-7 ise 720 günlük sinerez yüzdesi için oluşturulan lineer modelleri simgelemektedir. Şekil 3’te lineer fonksiyon kullanılarak oluşturulan modeller ile tahmin edilen sinerez yüzdesi değerlerine karşılık ölçülen sinerez yüzdesi değerlerinin saçılım grafikleri görülmektedir. Her bir model için elde edilen R^2 ve RMSPE değerleri tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 3. Sinerez değerinin tahmini için geliştirilen lineer regresyon modellerinin katsayıları ve istatistik sonuçları (SS: Sodyum Silikat, TS: Toplam Solüsyon, V: Viskozite, J: Jelleşme Süresi)

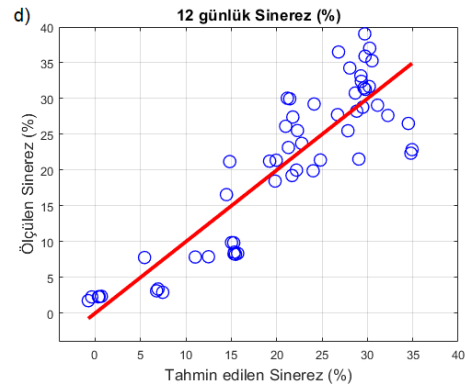
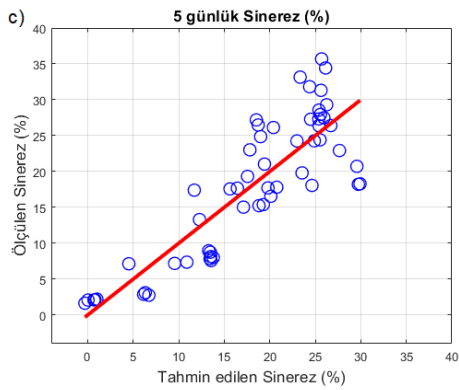
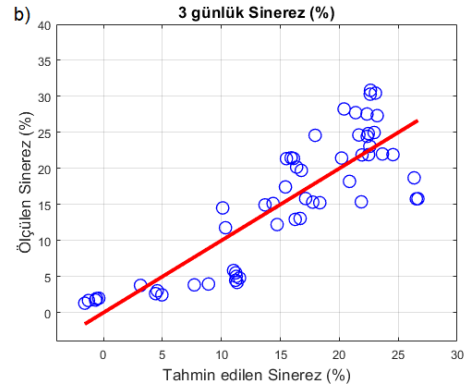
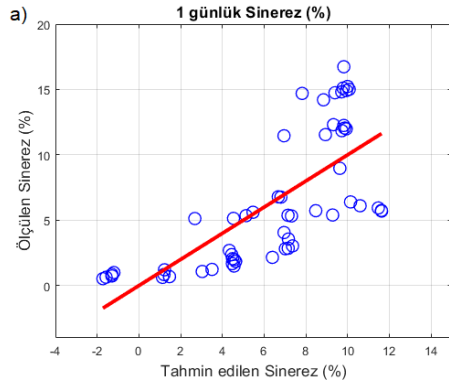
| Model No | Regresyon Katsayıları | R^2 | RMSPE |
|----------|---|-------|-------|
| L-1 | $-0,2480 + (0,3783 \times SS \times TS^{-1}) + (-2,7053 \times V) + (-0,0034 \times J)$ | 0,53 | 54,80 |
| L-2 | $1,3962 + (0,7704 \times SS \times TS^{-1}) + (-5,2310 \times V) + (-0,0079 \times J)$ | 0,73 | 30,80 |
| L-3 | $3,0378 + (0,8280 \times SS \times TS^{-1}) + (-5,6866 \times V) + (-0,0087 \times J)$ | 0,74 | 28,00 |
| L-4 | $2,7770 + (0,9658 \times SS \times TS^{-1}) + (-6,4512 \times V) + (-0,0097 \times J)$ | 0,78 | 25,20 |
| L-5 | $2,8824 + (0,9823 \times SS \times TS^{-1}) + (-6,5580 \times V) + (-0,0086 \times J)$ | 0,79 | 24,10 |
| L-6 | $2,0083 + (1,0708 \times SS \times TS^{-1}) + (-6,8683 \times V) + (-0,0078 \times J)$ | 0,82 | 21,70 |
| L-7 | $1,9756 + (1,0765 \times SS \times TS^{-1}) + (-6,8907 \times V) + (-0,0076 \times J)$ | 0,82 | 21,70 |

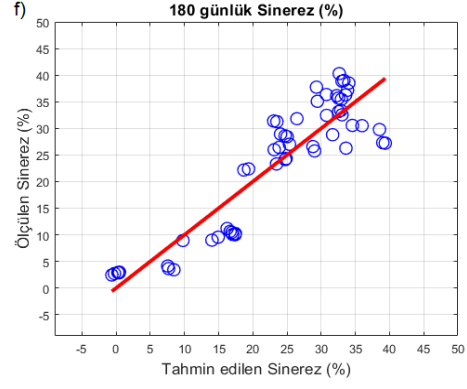
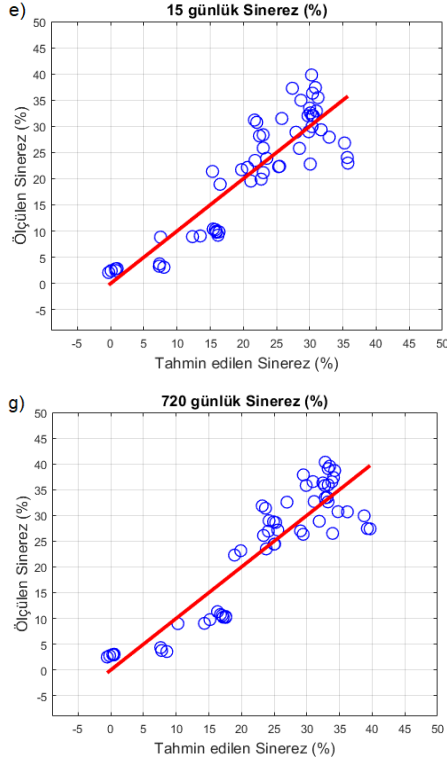
Tablo 3 ve Şekil 3’te görüleceği üzere lineer regresyon modellerinde 1 günlük sinerez yüzdesi tahmin performansı diğer günlere göre daha düşüktür. Zaman arttıkça modellerin tahmin başarısı artmaktadır. Özellikle 180 ve 720. günlerde tahmin performansı oldukça yüksek çıkmıştır. Sinerez yüzdelere tahmini için lineer modelin yanı sıra nonlineer fonksiyonlar (üstel ve eksponansiyel) kullanılmıştır. Tablo 4’te üstel fonksiyon için elde edilen katsayılar ve modellerin denklemleri görülmektedir. Tablo

4'te P-1; 1 günlük, P-2; 3 günlük, P-3; 5 günlük, P-4; 12 günlük, P-5; 15 günlük, P-6; 180 günlük ve P-7 ise 720 günlük sinerez yüzdeleri için oluşturulan üstel regresyon modellerini simgelemektedir.

Tablo 4. Sinerez değerinin tahmini için üstel fonksiyon kullanılarak geliştirilen regresyon modeli katsayıları ve istatistik sonuçları (SS: Sodyum Silikat, TS: Toplam Solüsyon, V: Viskozite, J: Jelleşme Süresi)

| Model No | Regresyon Katsayıları | R ² | RMSPE |
|----------|---|----------------|-------|
| P-1 | $6,2128 + (0,0918 \times SS \times TS^{-1,3576}) + (-4,5135 \times V^{0,9159}) + (-0,4833 \times J^{0,3430})$ | 0,55 | 53,90 |
| P-2 | $24,5956 + (0,4565 \times SS \times TS^{-1,1630}) + (-18,2545 \times V^{0,6491}) + (-2,1823 \times J^{0,2756})$ | 0,76 | 28,90 |
| P-3 | $31,9316 + (0,9816 \times SS \times TS^{-0,9975}) + (-23,3828 \times V^{0,5630}) + (-4,3101 \times J^{0,2158})$ | 0,79 | 25,20 |
| P-4 | $36,8013 + (0,9395 \times SS \times TS^{-1,0532}) + (-30,9687 \times V^{0,5384}) + (-2,3155 \times J^{0,2931})$ | 0,82 | 23,00 |
| P-5 | $35,1747 + (1,0083 \times SS \times TS^{-1,0379}) + (-29,5028 \times V^{0,5515}) + (-2,6860 \times J^{0,2645})$ | 0,82 | 22,10 |
| P-6 | $35,3039 + (0,8482 \times SS \times TS^{-1,1045}) + (-32,3200 \times V^{0,5588}) + (-1,2998 \times J^{0,3349})$ | 0,84 | 20,50 |
| P-7 | $34,6633 + (0,8561 \times SS \times TS^{-1,1026}) + (-31,7376 \times V^{0,5639}) + (-1,3550 \times J^{0,3264})$ | 0,84 | 20,50 |

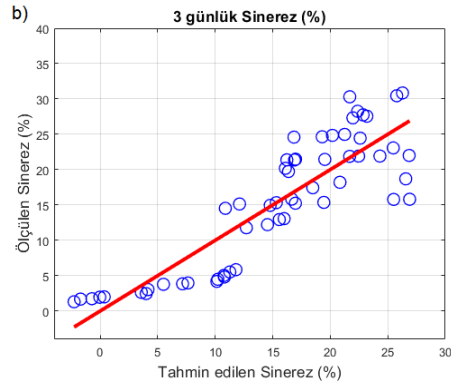
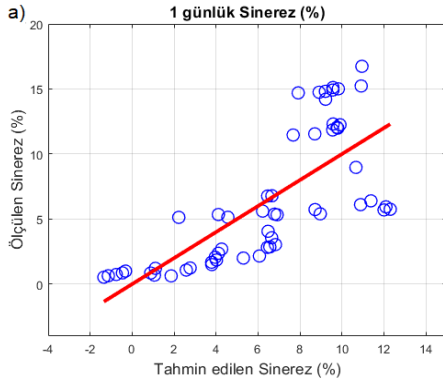


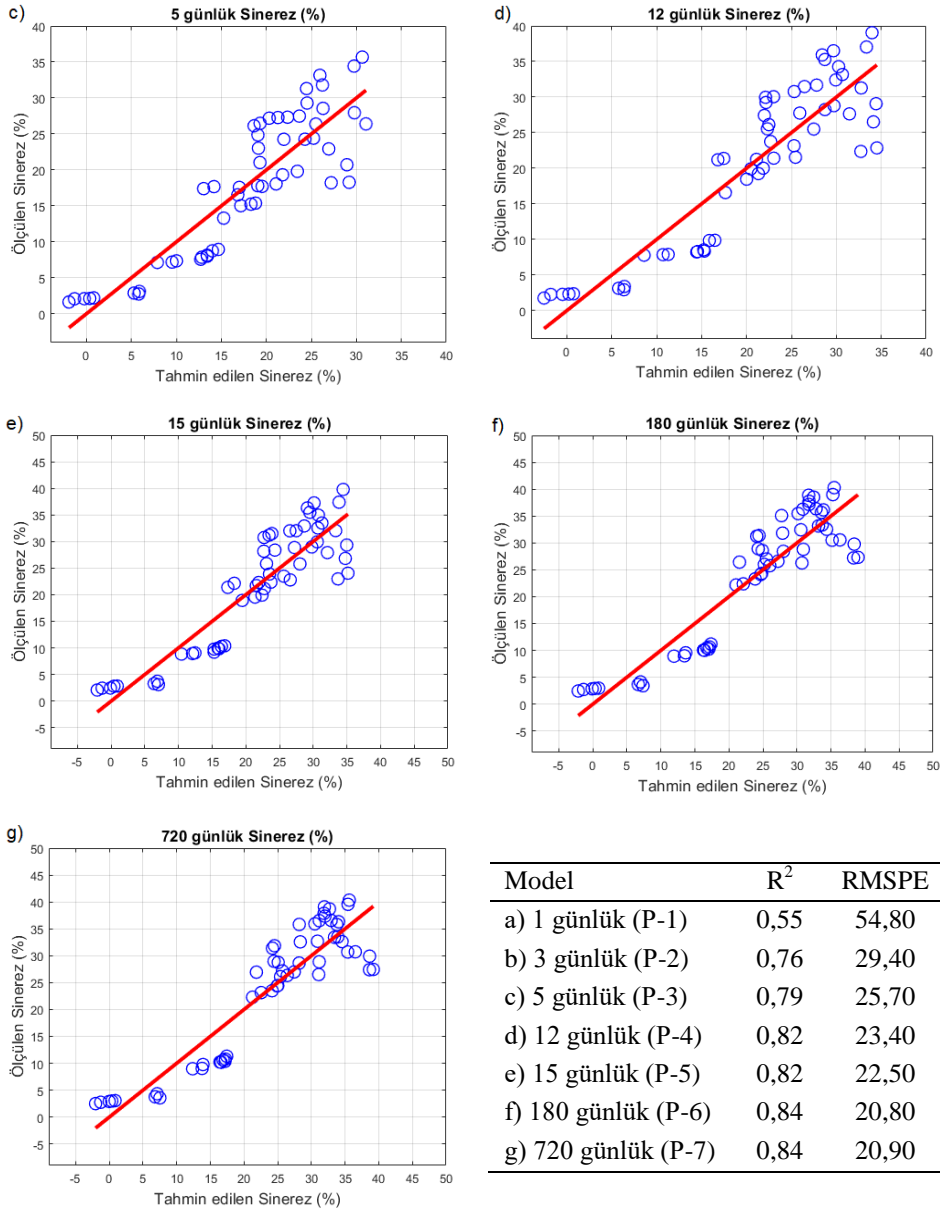


| Model | R ² | RMSPE |
|---------------------|----------------|-------|
| a) 1 günlük (L-1) | 0,53 | 55,80 |
| b) 3 günlük (L-2) | 0,73 | 31,40 |
| c) 5 günlük (L-3) | 0,74 | 28,50 |
| d) 12 günlük (L-4) | 0,78 | 25,60 |
| e) 15 günlük (L-5) | 0,79 | 24,50 |
| f) 180 günlük (L-6) | 0,82 | 22,10 |
| g) 720 günlük (L-7) | 0,82 | 22,10 |

Şekil 3. Lineer regresyon modeli ile tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişki ve istatistik sonuçları

Şekil 4'te üstel fonksiyon ile tahmin edilen sinerez değerine karşılık ölçülen sinerez değerlerinin saçılım grafikleri görülmektedir. Üstel fonksiyon kullanılarak oluşturulan modellerde de lineer fonksiyonlarda olduğu gibi sinerez yüzdesi tahmin performansları zamana bağlı olarak artmıştır. Üstel fonksiyon kullanarak oluşturulan modellerin tahmin performansları lineer fonksiyon ile oluşturulanlara göre kısmen daha iyi çıkmıştır.





Şekil 4. Üstel fonksiyon kullanılarak geliştirilen regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişki ve istatistik sonuçları

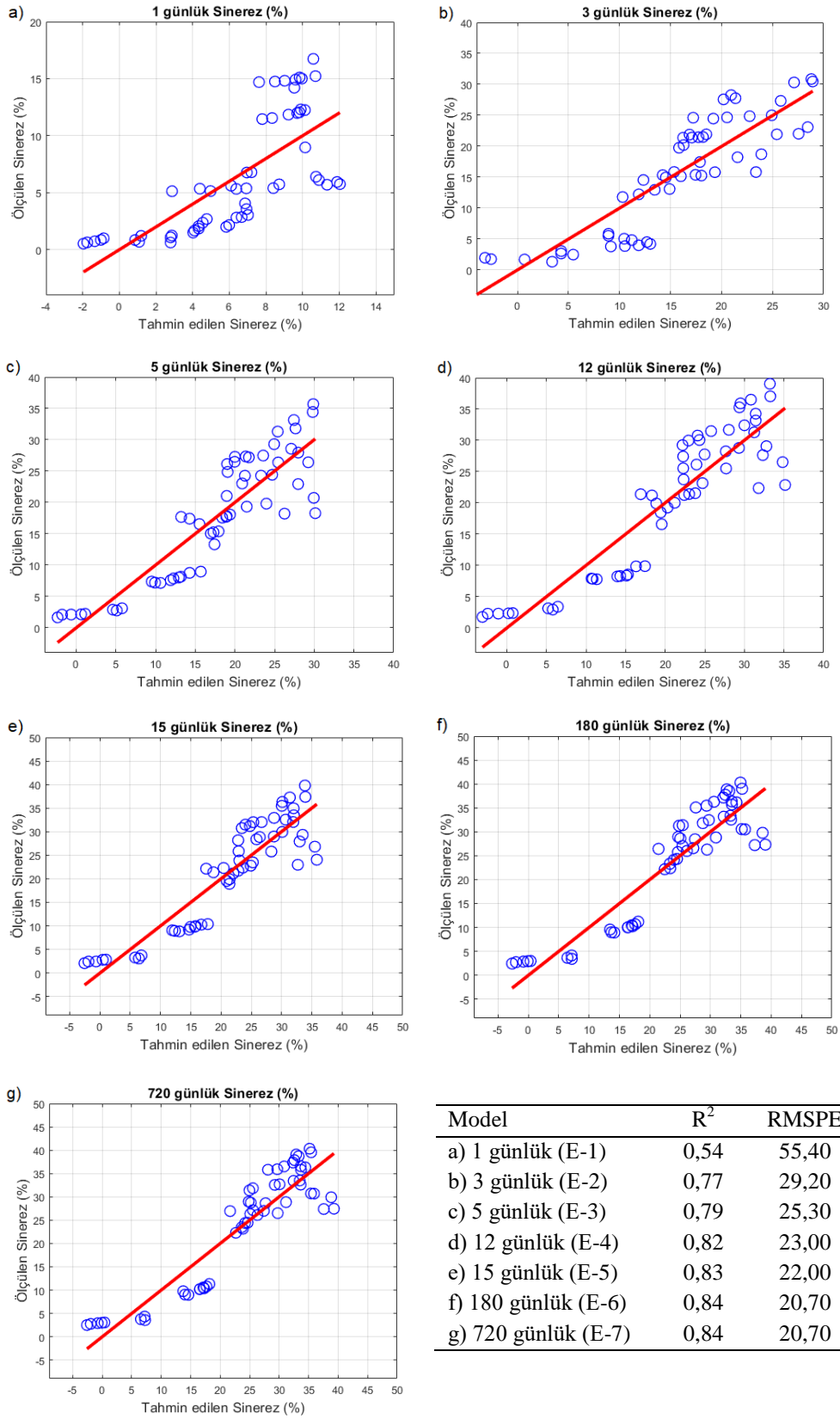
Tablo 5'te eksponansiyel fonksiyon kullanılarak sinerez tahmini için elde edilmiş ampirik denklemler, R^2 ve RMSPE değerleri görülmektedir. Her bir model için regresyon katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar ile ampirik denklemler oluşturulmuştur. Tablo 5'te E-1; 1 günlük, E-2; 3 günlük, E-3; 5 günlük, E-4; 12 günlük, E-5; 15 günlük, E-6; 180 günlük ve E-7 ise 720 günlük sinerez için oluşturulan modelleri simgelemektedir. Eksponansiyel fonksiyon ile oluşturulan modeller ile üstel fonksiyonu kullanılarak oluşturulan modeller birbirine yakın tahmin performansı göstermiştir.

Tablo 5. Sinerez değerin tahmini için eksponansiyel fonksiyon kullanılarak geliştirilen regresyon modeli katsayıları ve istatistik sonuçları (SS: Sodyum Silikat, TS: Toplam Solüsyon, V: Viskozite, J: Jelleşme Süresi)

| Model No | Regresyon Katsayıları | R ² | RMSPE |
|----------|--|----------------|-------|
| E-1 | $-243,2315 + (80,6757 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,043)) + (160,4139 \times \exp(V \times -0,0219)) + (4,3610 \times \exp(J \times -0,0028))$ | 0,54 | 54,40 |
| E-2 | $-500,2982 + (545,3177 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times -0,0009)) + (-336,5808 \times \exp(V \times -1,6261)) + (10,9445 \times \exp(J \times -0,0024))$ | 0,77 | 28,70 |
| E-3 | $-720,2287 + (608,5976 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,0015)) + (113,2433 \times \exp(V \times -0,1001)) + (12,5173 \times \exp(J \times -0,0053))$ | 0,79 | 24,80 |
| E-4 | $-733,2238 + (602,0249 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,0018)) + (131,4900 \times \exp(V \times -0,1010)) + (13,5241 \times \exp(J \times -0,0039))$ | 0,82 | 22,60 |
| E-5 | $-787,3260 + (655,3107 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,0016)) + (133,6677 \times \exp(V \times -0,0991)) + (12,2328 \times \exp(J \times -0,0045))$ | 0,83 | 21,60 |
| E-6 | $-810,2679 + (664,7285 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,0018)) + (145,7731 \times \exp(V \times -0,0929)) + (10,8351 \times \exp(J \times -0,0033))$ | 0,84 | 20,30 |
| E-7 | $-828,5563 + (682,5884 \times \exp((SS \times TS^{-1}) \times 0,0017)) + (146,5015 \times \exp(V \times -0,0920)) + (10,4855 \times \exp(J \times -0,0035))$ | 0,84 | 20,30 |

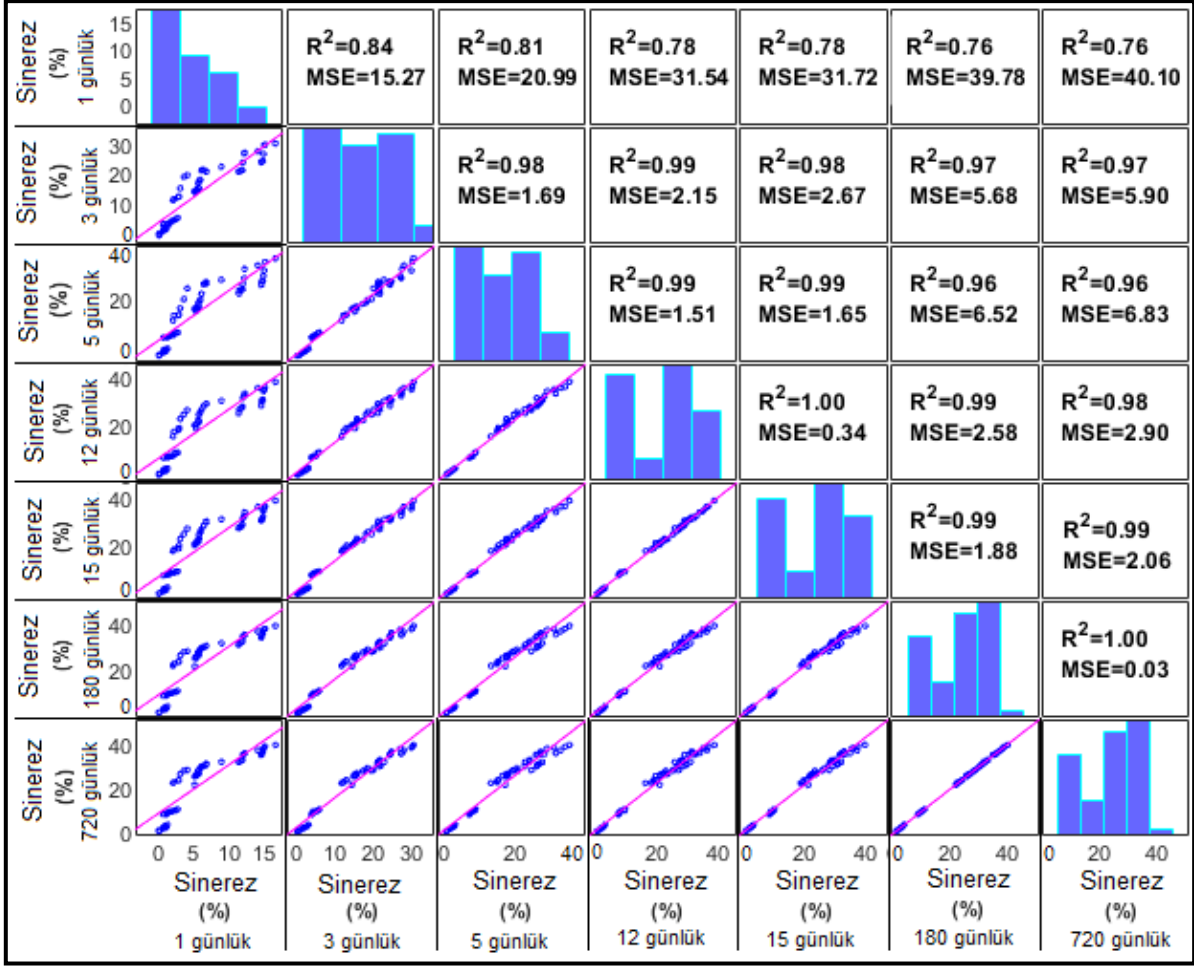
Şekil 5'te eksponansiyel modeller ile tahmin edilen sinerez değerlerine karşılık ölçülen sinerez değerlerinin saçılım grafiği görülmektedir. Ayrıca her bir modelin R² değerleri ve RMSPE değerleri de Şekil 5'teki tabloda verilmiştir. Eksponansiyel fonksiyon ile oluşturulan modeller lineer fonksiyon ile oluşturulan modellere göre kısmen daha iyi sonuç vermesine karşın üstel fonksiyon ile oluşturulan modeller ile birbirine oldukça yakın tahmin performansı göstermiştir. Eksponansiyel modellerde diğer fonksiyonlarda olduğu gibi 1 günlük sinerez yüzdesinin tahmininde düşük performans göstermesine karşın diğer sinerez günleri için oldukça iyi tahmin sonuçları göstermiştir.

Lineer, üstel ve eksponansiyel fonksiyon kullanılarak oluşturulan modellerin tahmin performansları incelendiğinde, her üç fonksiyonun da 1 günlük sinerez yüzdesinin tahmininde düşük performans gösterdiği görülmektedir. Bu modellerin belirlilik katsayısı ve RMSPE değerleri birbirine oldukça yakındır. Modellerin diğer sinerez günleri için tahmin değerlerinde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Üstel ve eksponansiyel fonksiyon ile oluşturulan modellerin tahmin performansları birbirlerine oldukça yakındır. Lineer modeller ile nonlinear modellerin tahmin performansı birbirine yakın olup nonlinear modellerin tahmin performans ölçütleri nispeten daha iyi sonuçlar vermiştir.



Şekil 5. Eksponansiyel fonksiyon kullanılarak geliştirilen regresyon modelleri ile tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişki ve istatistik sonuçları

Farklı günlerde ölçülen sinerez değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkiyi incelemek için toplam 21 regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan 21 model tek girdi ve tek çıktıdan oluşmaktadır. Modellerin saçılma grafiği, sinerez değerlerinin histogramları, modellerin belirlilik katsayısı ve MSE değerleri Şekil 6'daki matriste görülmektedir. Şekil 6'da gün bazlı sinerez değerleri eksenlere yerleştirilerek 7x7 boyutlarında çapraz ilişki matrisi oluşturulmuştur. İlgili matris ortadan çapraz olarak iki ayrılmış olup simetriktir. Ortadan çapraz çizgi boyunca simetrisine bakıldığında ilgili ilişkiye ait saçılım grafiği ve bu saçılımın R^2 ve MSE değerleri görülmektedir. Ortadaki değerler ise (çapraz çizgi boyunca) matriste belirtilen sinerez değerlerinin histogramını göstermektedir. Şekil 6'da görülen modellerin belirlilik katsayıları 0,76 ile 1,00 arasında hesaplanmıştır. MSE değerleri ise 0,03 ile 40,10 arasında bulunmuştur. Birbirine yakın sinerez değerleri için oluşturulan modellerin R^2 değerleri ve MSE değerleri daha iyi sonuçlar göstermiştir. 3, 5, 12, 15, 180 ve 720 günlük sinerez değerleri için oluşturulan modellerde oldukça yüksek R^2 değerleri (0,96 – 1,00 arası) elde edilmiştir. Benzer şekilde MSE değerleri oldukça düşüktür. 1 günlük sinerez değerleri ile oluşturulan modeller ise nispeten daha düşük ilişki göstermiştir. Yüksek R^2 ve düşük MSE değerine sahip modellerin saçılım grafikleri diğerlerine nazaran daha lineer özellik göstermektedir. Örneğin 180 günlük sinerez değeri ile 720 günlük sinerez değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren modelin R^2 değeri 1,00 ve MSE değeri 0,03 (6. satır 7. kolon) olup buna karşılık gelen (simetriği) saçılım grafiği (7. satır 6. kolon) ise lineer özellik göstermektedir. Şekil 6'da görülen histogram dağılımlarının benzerlik gösterdiği sinerez değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 6'da görülen farklı günlerdeki sinerez değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Sinerez değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkiyi gösteren matris

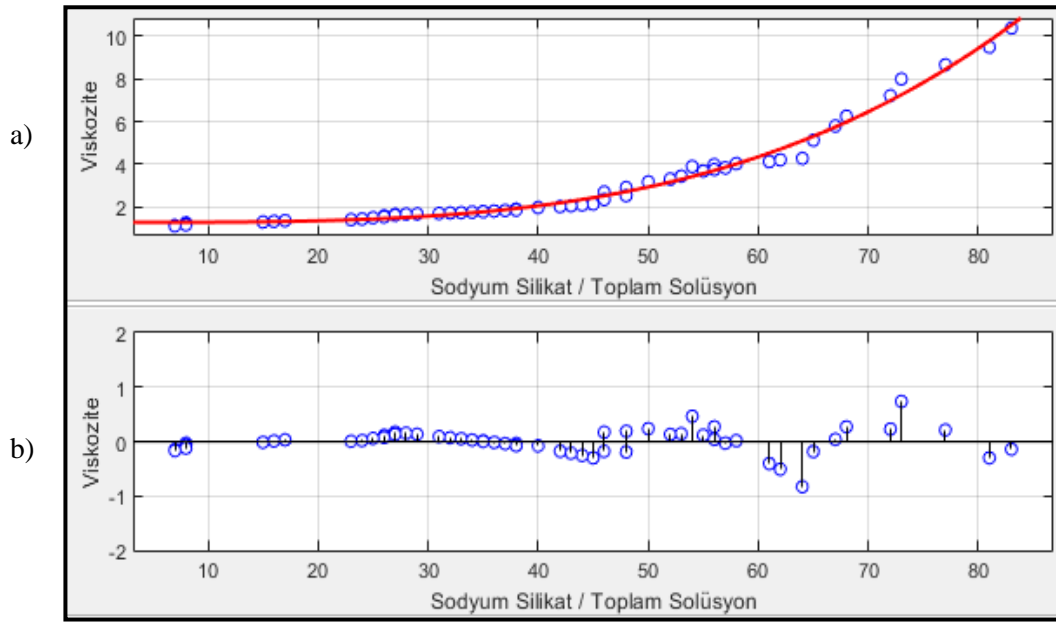
Çalışmada sinerez ile ilgili modellerin yanı sıra viskozite ile sodyum silikat arasındaki ilişki de incelenmiştir. Enjeksiyon solüsyonlarında viskozitenin bilinmesi uygulamadaki başarıyı oldukça etkilemektedir. Zemin enjeksiyon çalışmalarında viskozitesi değeri düşük (çok akışkan) veya yüksek (az akışkan) olması akış hızını, akışın başlayabilmesini, hidrolik çatlama, yakın çevresindeki yer altı ve yer üstü yapılarını etkilemektedir. Sodyum silikat oranı ile viskozite arasında ilişkinin incelenmesi amacıyla model oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde viskozite değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahminde girdi parametresi olarak sodyum silikat ve toplam solüsyon oranı, çıktı olarak ise viskozite alınmıştır. Verilere ait saçılım grafiği çizildiğinde verilerin nonlinear özellik gösterdiği görülmektedir. Bu sebepten dolayı eksponansiyel fonksiyonlar kullanılmıştır. Tablo 6’da oluşturulan model için elde edilen katsayılar ve modellerin R² ve RMSPE değerleri görülmektedir.

Tablo 6. Viskozite değerinin tahmini için eksponansiyel fonksiyon kullanılarak geliştirilen regresyon modeli katsayıları ve istatistik sonuçları

| Model | Regresyon Katsayıları | R ² | RMSPE |
|-------|--|----------------|-------|
| V-1 | $1,295 + 2,809 e^{-06} \times SS \times TS^{-3,395}$ | 0,99 | 7,77 |

Modelin belirleme katsayısı 0,99 ve RMSPE değeri ise 7,77 olarak elde edilmiştir. Oluşturulan modelin viskozitenin tahmini için oldukça iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 7’de ise sodyum silikat / toplam solüsyon oranı ve viskozite değerlerinin saçılım grafiği görülmektedir.

Şekil 7’de görüleceği üzere saçılım grafikleri nonlinear özellik göstermektedir. Saçılım grafiğine en uygun fonksiyon olarak eksponansiyel fonksiyon kullanılmıştır. Grafiklerde görülen kırmızı çizgi eksponansiyel regresyon eğrisini göstermektedir. Ayrıca Şekil 7b’de tahmin hata miktarları da görülmektedir. Ölçülen en düşük viskozite değeri 1,01, en yüksek viskozite değeri 10,37 ve ortalama değeri 2,93 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında Şekil 7’de hata miktarlarının oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 7. a) Viskozite ve sodyum silikat / toplam solüsyon oranı değerleri arasındaki ilişki. Kırmızı çizgi eksponansiyel regresyon eğrisini göstermektedir. b) Modelin tahmin hata dağılımı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada sodyum silikat yüzdesi, viskozite, sinerez ve jelleşme süresi arasındaki ilişki incelenmiştir. Jelleşen solüsyonlarda sinerez yüzdelerinin zamana bağlı olarak arttığı ve bu artışın 3. günden sonra yavaşladığı görülmektedir. Sinerez değerlerinin birbiri arasındaki ilişki regresyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonucunda oldukça yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir. Özellikle birbirine yakın sinerez değerleri için oluşturulan modellerin performansları daha iyi sonuçlar göstermiştir. Sinerez değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişkinin bulunduğu görülmektedir. Sinerez değerinin zamana bağlı tahmini için lineer, eksponansiyel ve üstel fonksiyonlu toplam 21 regresyon modeli oluşturulmuştur. Modellerde sodyum silikat/ toplam solüsyon, viskozite ve jelleşme süresi girdi parametresi sinerez değeri çıktı olarak alınmıştır. Modellerin tahmin performansı incelendiğinde bütün modellerin sinerez değerini tahmin etmede kullanılabileceği görülmüştür. Modellerin R^2 değerleri 0,53 ile 0,84 arasında değişmektedir. Sinerez değerinin tahmini için oluşturulan bütün fonksiyonlarda 1

günlük sinerez değeri diğer günlere göre daha düşük R^2 ve daha yüksek RMSPE sonuçları vermiştir. Sinerez yüzdesi değerlerinde zamana bağlı olarak modellerin tahmin başarısının arttığı görülmektedir. Sinerez yüzdesinin tahmini için oluşturulan modellerin belirlilik katsayı ve RMSPE değerleri incelendiğinde nonlineer fonksiyonların lineer fonksiyona göre daha iyi tahmin performansı gösterdiği görülmektedir. Üstel ve eksponansiyel fonksiyonların performansı birbirine oldukça yakındır. Sinerez yüzdesi tahmini için geliştirilen regresyon modellerinin tahminde oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sodyum silikat/toplam solüsyon oranı ile viskozite değeri arasındaki ilişki regresyon analizi ile araştırılmıştır. Verilerin dağılımı nonlineer özellik gösterdiğinden dolayı üstel fonksiyon kullanılmıştır. Modelde girdi parametresi olarak sodyum silikat ve toplam solüsyon oranı çıktı olarak viskozite değeri kullanılmıştır. Yapılan analizde yüksek belirlilik katsayısı ve düşük RMSPE değerleri elde edilmiştir. Viskozite değerinin tahmini için oluşturulan modelin oldukça iyi performans gösterdiği görülmüştür.

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

- Anagnostopoulos CA. Laboratory study of an injected granular soil with polymer grouts. *Tunneling and Underground Space Technology* 2005; 20(6): 525-533.
- Anagnostopoulos CA., Papaliangas T., Monolopoulou S., Dimopoulos T. Physical and mechanical properties of chemically grouted sand. *Tunneling and Underground Space Technology* 2011; 26(6): 718-724.
- ASTM D2196. Standard test methods for rheological properties of non-newtonian materials by rotational viscometer. America: Publisher; American Society for Testing and Materials (ASTM); 2015.
- Ata A., Vipulanandan C. Cohesive and adhesive properties of silicate grout on grouted-sand behavior. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 1998; 124(1): 38-44.
- Bodocsi A., Bowers MT. Permeability of acrylate, urethane, and silicate grouted sands with chemicals. *Journal of Geotechnical Engineering* 1991; 117(8): 1227-1244.
- Buturac G. Measurement of economic forecast accuracy: A systematic overview of the empirical literature. *Journal of Risk and Financial Management* 2022;15(1):1-28
- Clifton W. Chemical grouts for potential use in bureau of reclamation projects: Denver/USA:U.S. Department of the Interior-Bureau of Reclamation; 1986.

- Clough W., Kuck M., Kasali G. Silicate-stabilized sands. *Journal of Geotechnical Engineering* 1979; 105(1): 65–81.
- Diefenthal DC., Borden RH., Baker WH., Krizek RJ. Strength and stiffness of silicate grouted sand with different stress histories. *Geotechnical Testing Journal* 1979; 2(4): 200–205.
- Guyot JP. *An Introduction to Chemicals for Grouting of Soils*. New York: Create Space Independent Publishing Platform; 2015.
- Haussman MR. *Engineering Principles of Ground Modification*. New York: Mc Graw-Hill; 1990.
- Henn RW. *Practicle Guide to Grouting of Underground Structures*. New York: ASCE Press; 1996.
- Holmboe M., Wold S., Petterson T. Effects of injection grout Silica sol on bentonite. *Physics and Chemistry of the Earth* 2011; 36(17): 1580-1589.
- Kaga M., Yonekura R. Estimation of strength of silicate grouted sand. *Soils and Foundation* 1991; 31(3): 43–59.
- Karol RH. *Chemical Grouting and Soil Stabilization, Revised and Expanded*. 3rd ed. Boca Raton: Taylor & Francis Inc; 2003.
- Markou IN., Droudakis AI. Factors affecting engineering properties of microfine cement grouted sands. *Geotechnical and Geological Engineering* 2013; 31: 1041–1058.
- Phan, TAV. Application of sodium silicate-cement grout to enhance the liquefaction resistance and dynamic properties of sandy soil. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering* 2014; 3(4): 375–384.
- Porcino D., Ghionna VN., Granata R., Marcianò V. Laboratory determination of mechanical and hydraulic properties of chemically grouted sands. *Geomechanics and Geoengineering* 2016; 11(2): 164-175.
- Shroff AV., Shah DL. *Grouting technology in tunneling and dam construction*. Second edition. Rotterdam: A.A. Balkema; 1999.
- Tan DY., Clough GW. Ground control for shallow tunnels by soil grouting. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division* 1980; 106(9): 1037-1057.
- Timbers T., Campbell T., Lee M. *Data Science: A First Introduction*. Chapman & Hall/CRC Data Science Series; 2022.
- USA Army Corps of Engineers. *Engineering and design chemical grouting: EM 1110-1-3500*. Washington DC: USACE; 1995.
- Vaheddoost B., Safari MJS., Zeynali RI. Discharge coefficient for vertical sluice gate under submerged condition using contraction and energy loss coefficients. *Flow Measurement and Instrumentation* 2021; 80(4): 102007.
- Verfel J. *Rock grouting and diaphragm wall construction*. Prague: Elsevier Press; 1989.
- Warner J. Strength properties of chemically solidified soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 1972; 98(11): 1163-1185.

Kille Çayı (Balıkesir) Fitoplanktonu ve Mevsimsel Değişiminin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değişkenlerle Olan İlişkileri

Kemal ÇELİK^{1*}

¹Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 10145, Balıkesir, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-6931-2681>

*Sorumlu yazar: kcelik@balikesir.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 09.05.2022

Kabul tarihi: 07.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Fitoplankton
Kille Çayı
Ötrofikasyon
Su kalitesi

ÖZ

Akarsu ve durgun suların su kalitesinin belirlenmesinde algler büyük önem arz ederler. Kille Çayı'nın fitoplankton ekolojisini incelemek amacıyla Nisan ve Ekim 2019 tarihlerinde 2 istasyonda örnekleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, Bacillariophyta grubundan 32, Chlorophyta grubundan 16 ve Cyanobacteria grubundan 6 olmak üzere toplamda 54 fitoplankton türü tespit edilmiştir. Su sıcaklığı (T) 13-25°C, çözülmüş oksijen (ÇO) 3,55-7,85 mg^l⁻¹, elektriksel iletkenlik (EK) 1346-1631 µScm⁻¹, pH 6,75-7,84, nitrat azotu (NO₃-N) 0,43-0,86 mg^l⁻¹, toplam azot (TN) 1,9-5,85 mg^l⁻¹, fosfat (PO₄) 0,06-0,08 mg^l⁻¹ ve toplam fosfor (TP) 0,06-0,15 mg^l⁻¹ aralıklarında ölçülmüştür. Bacillariophyta grubundan *Fragilaria capucina*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula subrhyncocephala*, *Navicula veneta*, Chlorophyta grubundan *Cosmarium vexatum*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum komarekii*, Cyanobacteria grubundan *Aphanothece clathrata* ve *Chroococcus turgidus* baskın türler olarak belirlenmiştir. Tespit edilen baskın fitoplankton türlerine göre Kille Çayı ötrofik karakterli bir su kütlesidir.

Phtoplankton of Kille Stream (Balıkesir) and Their Seasonal Variation Related to Certain Physical and Chemical Variables

Research Article

Article History:

Received: 09.05.2022

Accepted: 07.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Eutrophication
Kille Stream
Pytoplankton
Water quality

ABSTRACT

Algae are of great importance in determining the water quality of streams and stagnant waters. In order to examine the ecology of the phytoplankton of the Kille Stream, sampling was carried out at 2 stations in April and October 2019. In this study, a total of 54 phytoplankton species were identified, 32 from Bacillariophyta group, 16 from Chlorophyta group and 6 from Cyanobacteria group. Water temperature ranged from 13°C to 25°C, dissolved oxygen (DO) from 3,55 to 7,85 mg^l⁻¹, pH from 6,75 to 7,84, electrical conductivity from (EC) 1346 to 1631 µScm⁻¹, nitrate nitrogen (NO₃-N) from 0,43 to 0,86 mg^l⁻¹, total nitrogen (TN) from 1,9 to 5,85 mg^l⁻¹, phosphate (PO₄) from 0,06 to 0,08 mg^l⁻¹ and total phosphorus (TP) from 0,06 to 0,15 mg^l⁻¹. *Fragilaria capucina*, *Cymbella silesiaca*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula subrhyncocephala*, *Navicula veneta*, *Navicula minuta* from Bacillariophyta group, *Cosmarium vexatum*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum komarekii* from Chlorophyta group, *Aphanothece clathrata* and *Chroococcus turgidus* from Cyanobacteria group were determined as dominant species. According to the identified dominant phytoplankton species, Kille Stream is characterized as a eutrophic water body.

To Cite: Çelik K. Kille Çayı (Balıkesir) Fitoplanktonu ve Mevsimsel Değişiminin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değişkenlerle Olan İlişkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 252-260.

1.Giriş

Akuatik sistemlerde besin zincirinin ilk halkasını oluşturan algler, söz konusu sistemlerde ekolojik durumun belirlenmesi amacıyla incelenen önemli canlı topluluklarından biridir. Akarsular çeşitli tür ve sayıda alg türleri barındırırlar. Algler yayılış gösterdikleri ortamın ekolojik durumunu gösteren gösterge türler içermektedir (Wang ve ark., 2021).

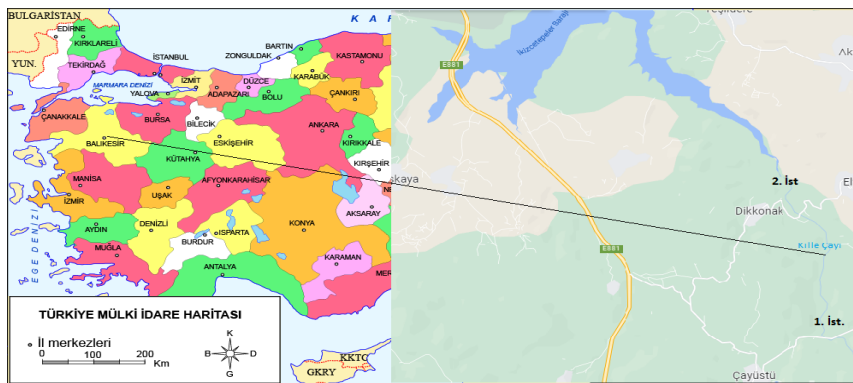
Ülkemizde akarsulardaki fitoplankton komunitaslarının tür içeriği ve zamansal dinamikleri üzerine yapılmış araştırmalara Manavgat Nehri planktonik algleri (Erdoğan ve ark., 2012), Köprüçay Nehri planktonik algleri (Erdoğan ve ark., 2015), Karasu Nehri alg florası (Altuner ve Gürbüz, 1990) ve Çoruh nehri diatomları (Atıcı ve Obalı, 1999) örnek verilebilir.

Dünya nüfusunun hızlı artışı sonucu artan su ihtiyacı ve su kalitesinin bozulması nedeniyle dünya çapında tatlı su ekosistemlerinin ekolojik durumlarının tayini önemli derecede artmıştır (Çelekli ve Lekesiz, 2021). Son on yılda birçok ülkede su kalitesini belirlemek için sadece fiziksel ve kimyasal parametreler değil, aynı zamanda biyolojik veriler de kullanılmaktadır (Abd El-Karim, 2015; Toudjani ve ark., 2018)

Ülkemizde alglerin gösterge olarak kullanıldığı biyolojik izleme çalışmaları hızla artmaktadır (Atıcı ve Ahıska, 2005; Varol ve Şen, 2014; Tezel Ersanlı ve Öztürk, 2017; Morkoyunlu Yüce ve ark., 2018). Kille Çayı'nın fitoplanktonik organizmaları şimdiye kadar çalışmamıştır. Dolayısıyla, bu çalışma Kille Çayı'nın fitoplanktonu üzerinde yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Bu çalışma ile , Kille Çayı'nın fitoplankton çeşitliliği ve ekolojisi tespit edilip Türkiye akarsu alglerinin envanter oluşturulmasına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Balıkesir'in Altıeylül ilçesinde yer alan Kille Çayı, Çayüstü bölgesindeki ormanlık alandaki sularının toplanmasından oluşup İkizcetepeler Barajına dökülür (Şekil 1). Örnekleme için iki istasyon seçilmiştir. 1. istasyon, Kille çayı'nın doğduğu Çayüstü bölgesinden seçilmiştir. 2. istasyon, Kille Çayı'nın İkizcetepeler Barajı'na döküldüğü yere yakın bölgeden seçilmiştir. Kille Çayı'nın ortalama debisi $0.2 \text{ M}^3\text{S}^{-1}$ olup kış aylarında bazen yüksek ($100 \text{ M}^3\text{S}^{-1}$), kurak mevsimlerde ise bazen kuruyabilmektedir ($0 \text{ M}^3\text{S}^{-1}$).



Şekil 1. Kille Çayı ve örnekleme istasyonları

Fitoplankton örnekleri 2019 yılı bahar (Nisan) ve gz (Ekim) dönemlerinde iki istasyondan alınıp analizleri yapılarak fitoplankton florası ve zamansal dinamikleri ile bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerle olan ilişkileri tespit edilmiştir.

Fiziksel ve kimyasal parametrelerden; su sıcaklığı, pH ve elektriksel kondüktivite (EK) örnek alma anında arazi tipi bir YSI marka 6600 model cihazla ölçülmüştür. Nitrat azotu (NO₃-N), toplam azot (TN), fosfat (PO₄) ve toplam fosfor (TP) analizleri ise laboratuvarında standart metotlara göre (APHA, 2017) spektrofotometrik olarak ölçülmüştür.

Fitoplankton bolluğunun ve biyoçeşitliğinin tayini için örnekler yüzeyin hemen altından 0,5 litrelik ışık geçirmez şişelerle alınıp Lugol solüsyonu ile fikse edilmişlerdir. Örneklemeye noktaları için akıntı hızının nispeten düştüğü derenin kenar kısmı tercih edilmiştir (Piiirsoo, 2001). Örnekler laboratuvara getirildikten sonra, 50 ml'lik mezrlerde 24 saat bekletilmiştir. Örneklerin üstündeki 45 ml'lik su pipet ile alındıktan sonra kalan 5 ml'lik kısmı incelenme için başka bir flakona alınmıştır. Türlerin analizi için, 0,1 ml'lik numune bir Palmer-Maloney sayım lamına alınıp bir Olympus BX51 mikroskobu (60'lık büyütme) ile analizleri yapılmıştır.

Fitoplankton türlerinin teşhisleri için yaygın (Huber-Pestalozzi, 1982; Round ve ark., 1990; Sims, 1996; John ve ark., 2003) tayin anahtarlarından yararlanılmıştır. Dominant türlerin yoğunlukları ile fizikokimyasal değişkenler arasındaki ilişkiler CCA ile tespit edilmiştir. CCA; CANOCO (v.4.5) yazılımı kullanılarak yapılmıştır (ter Braak ve Smilauer, 2002).

3. Bulgular

Kille Çayı'nda, su sıcaklığı en düşük 13 °C ile Nisan ayında 1. istasyonda, en yüksek 25°C ile Ekim ayında 2. istasyonda, elektriksel kondüktivite en düşük 1346 µScm⁻¹ ile Nisan ayında 1. istasyonda, en yüksek 1631 µScm⁻¹ ile Ekim ayında 2. istasyonda, pH en düşük 6,75 ile Ekim ayında 2. istasyonda, en yüksek 7,84 ile Nisan ayında 1. istasyonda, NO₃-N en düşük 0,43 mg l⁻¹ ile Nisan ayında 1. istasyonda, en yüksek 0,86 mg l⁻¹ ile Ekim ayında 2. istasyonda, toplam azot en düşük 1,9 mg l⁻¹ ile Nisan ayında 1. istasyonda, en yüksek 5,85 mg l⁻¹ ile Ekim ayında 2. istasyonda, PO₄ en düşük 0,06 ile Nisan ayında 1. istasyonda, en yüksek 0,08 mg l⁻¹ ile Ekim ayında 2. istasyonda ve TP en düşük 0,5 mg l⁻¹ ile Nisan ayında 1. istasyonda ve en yüksek 0,6 mg l⁻¹ ile Ekim ayında 2. istasyonda ölçülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1. Ölçülen fizikokimyasal eğişkenlerin en düşük, en yüksek, standart sapma ve ortalama değerleri

| | En Düşük | En Yüksek | Standart Sapma | Ortalama |
|---|----------|-----------|----------------|----------|
| Su Sıcaklığı (T, °C) | 13,00 | 25,00 | 7,36 | 18,00 |
| pH | 6,75 | 7,84 | 2,20 | 6,53 |
| Çözünmüş Oksijen (ÇO, mg ^l ⁻¹) | 3,52 | 7,85 | 2,95 | 6,52 |
| Elektriksel Kondüktivite (EK, µScm ⁻¹) | 1346 | 1631 | 132,86 | 1315,25 |
| Fosfat (PO ₄ , mg ^l ⁻¹) | 0,06 | 0,08 | 0,05 | 0,07 |
| Toplam Fosfor (TP, mg ^l ⁻¹) | 0,06 | 0,15 | 0,06 | 0,10 |
| Nitrat Azotu (NO ₃ -N, mg ^l ⁻¹) | 0,43 | 0,86 | 0,20 | 0,62 |
| Toplam Azot (TN, mg ^l ⁻¹) | 1,90 | 5,85 | 0,38 | 3,50 |

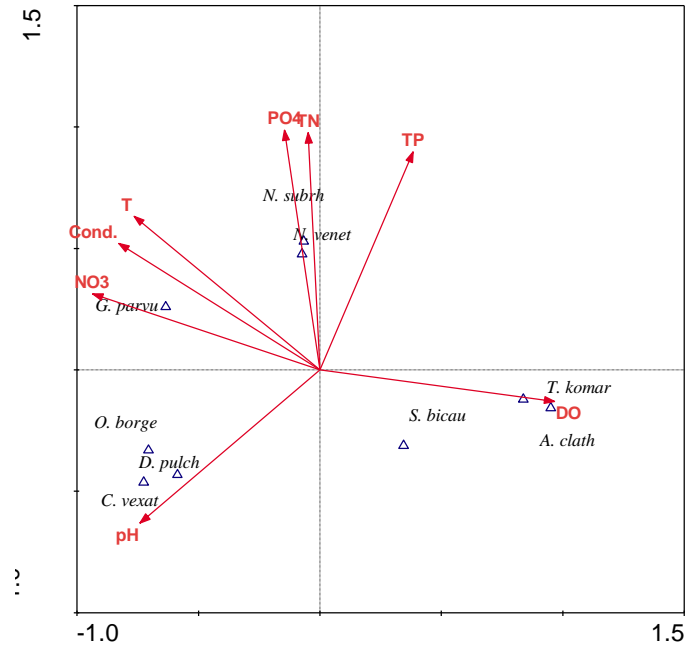
Kille Çayı'nda yapılan bu araştırmada, Bacillariophyta grubundan 32, Chlorophyta grubundan 16 ve Cyanobacteria grubundan 6 olmak üzere toplamda 54 fitoplankton türü tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Kille Çayında tespit edilen fitoplankton türleri

| Grup | İlkbahar | | Sonbahar | |
|---|----------|-------|----------|-------|
| | İst.1 | İst.2 | İst.1 | İst.2 |
| Bacillariophyta | | | | |
| <i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki | + | + | + | + |
| <i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz. | + | - | - | + |
| <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen | - | + | + | - |
| <i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenb. | + | + | + | - |
| <i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) D.G. Mann | + | - | + | + |
| <i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G.Mann | + | + | + | + |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing | + | - | + | + |
| <i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek | - | + | + | + |
| <i>Cymbella affinis</i> Kütz. | + | - | + | + |
| <i>Cymbella lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner | - | + | + | - |
| <i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch | - | + | - | + |
| <i>Diatoma vulgare</i> Bory | - | + | + | + |
| <i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann | + | - | + | + |
| <i>Epithemia turgida</i> (Ehrenb.) Kütz. | + | + | - | + |
| <i>Fragilaria capucina</i> Desmazières | - | - | - | - |
| <i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg | + | + | - | + |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing | - | + | + | + |
| <i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenh. | + | - | + | + |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow | + | + | + | + |
| <i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) D.G. Mann | + | - | + | + |
| <i>Melosira italica</i> (Ehrenberg) Kützing | + | + | + | + |
| <i>Meridion circulare</i> (Greville) C.A. Agardh | + | - | + | + |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> Germain | + | + | + | + |
| <i>Navicula subrhyncocephala</i> Hustedt | - | + | - | + |
| <i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot | + | - | + | + |
| <i>Navicula veneta</i> Kützing | - | + | - | + |
| <i>Nitzschia palea</i> (Kuetz.) W.S.M. | + | + | + | + |
| <i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith | - | + | - | + |
| <i>Planothidium lanceolatum</i> (Bréb. Ex Kütz) Lange-Bert. | + | + | - | - |
| <i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenh. | + | - | + | + |
| <i>Stephanodiscus neoastraea</i> Håkansson & Hickel | + | + | + | + |
| <i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M. Aboal | + | - | - | + |
| Chlorophyta | | | | |
| <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs | + | - | - | - |
| <i>Chlamydomonas globosa</i> Ehrenb. | + | + | - | + |
| <i>Cosmarium vexatum</i> West | - | + | - | + |
| <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood | - | + | - | + |
| <i>Franceia ovalis</i> (Francé) Lemmermann | + | - | - | + |
| <i>Golenkiniopsis solitaria</i> (Korshikov) Korshikov | + | + | - | + |
| <i>Lagerheimia ciliata</i> (Lagerheim) Chodat | + | - | - | + |
| <i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák | + | + | + | - |
| <i>Pediastrum duplex</i> Meyen var. <i>Rugulosum</i> Raciborski | + | - | + | - |
| <i>Pediastrum simplex</i> Meyen Lemm. | - | + | - | - |
| <i>Oocystis borgei</i> Snow | + | - | + | - |
| <i>Scenedesmus bicaudatus</i> Dedus | + | - | - | + |
| <i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda | - | + | - | - |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Breb. | + | - | + | - |
| <i>Tetraedron trilobatum</i> (Reinsch) Hansgirg | + | - | - | - |
| <i>Tetrastrum komarekii</i> Hindák | - | + | - | - |
| Cyanobacteria | | | | |
| <i>Aphanothece clathrata</i> West & G.S. West | - | + | - | - |
| <i>Arthrospira gigantea</i> (Schmidle) Anagnostidis | - | - | + | + |
| <i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli | + | + | - | - |
| <i>Gomphosphaeria aponin</i> Kützing | - | - | + | + |
| <i>Oscillatoria minutissima</i> P. González | - | + | + | - |
| <i>Oscillatoria subtilissima</i> Kützing | - | - | - | - |

CCA, Kille Çayı'nda Bacillariophyta grubundan baskınlık gösteren *N. veneta*, *N. subrhyncocephala* PO₄ ve TN ile, *G. parvulum* NO₃-N ile, Chlorophyta grubunda baskın olan *S. bicaudatus* ve *T. komarekii* ÇO ile, *D. pulchellum* ve *C. vexatum* pH ile ve Cyanobacteria grubundan *A. clathrata* ÇO ile yakın ilişki göstermişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Kille Çayı'nda dominant fitoplankton türleri ile fiziksel ve kimyasal değişkenler arasındaki bağıntıları gösteren CCA grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Kille Çayı'nın fitoplankton komünite yapısını tayin etmek için yapılan bu çalışmada, Bacillariophyta grubundan 32, Chlorophyta grubundan 16 ve Cyanobacteria grubundan 6 olmak üzere toplamda 54 fitoplankton türü tespit edilmiştir. Bacillariophyta grubundan *F. capucina*, *C. silesiaca*, *G. parvulum*, *N. subrhyncocephala*, *N. veneta*, Chlorophyta grubundan *C. vexatum*, *D. pulchellum*, *T. komarekii*, Cyanobacteria grubundan *A. clathrata* ve *C. turgidus* türleri baskın olup söz konusu türler diğer akarsularda da yaygın olarak bulunmuşlardır (Aysel, 2005; Kalyoncu ve ark., 2009).

Bu türlerden bazıları gerçek planktonik tür olmalarına rağmen, bazıları sediment ve kayalar üzerinde bulunan alginlerin su hareketleri ile su kolonuna karıştığı birçok çalışmada rapor edilmiştir (Solak ve ark., 2012; Erdoğan ve ark., 2015). Örneğin, *A. falcatus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Chroococcus turgidus*, *C. globosa*, ve *Oscillatoria minutissima* gerçekte bentik alginler olmasına rağmen, su hareketleri ile planktona karışabilmektedirler (Yıldız, 1987; Tezel Ersanlı ve Öztürk, 2017).

Kille Çayı'nda Chlorophyta ve Cyanobacteria gruplarına ait türlerin akış nedeni ile diğer grupların türlerine nazaran daha az yoğunlukta geliştiği ancak su sıcaklığının arttığı ve çevresel şartlarının elverişli hale geldiği güz döneminde geliştikleri tespit edilmiştir. Özellikle, *C. vexatum*, *T. komarekii* ve *C. turgidus* diğer akarsularda da yapılan çalışmalarda rapor edilmişlerdir (Yıldız, 1987).

CCA, *N. subrhyncocephala* ve *N. veneta*'nın PO₄ ve TN ile ilişkili olduklarını göstermiştir. Çelekli ve Lekesiz (2020) Batı Akdeniz havzası akarsularının ekolojik durumlarının tespiti için diatome metriklerini kullanarak yaptıkları çalışmada söz konusu türlerin ötrof su kütlelerinde yayılış gösterdiklerini ve PO₄ ve TN ile yüksek korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir.

CCA , *G. Parvulum* 'un NO₃-N ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Almeida ve ark. (2014) Akdeniz ve Avrupa genelinde nehirlerin su kalitesi değerlendirmesinde diatom metriklerini kullanarak yaptıkları çalışmada, *G. Parvulum* 'un NO₃-N ile ilişkili olduklarını gösterip ötrof derelerde yaygın olduğunu göstermişlerdir.

CCA, Chlorophyta grubundan *S. bicaudatus* ve *T. komarekii* ile Cyanobacteria grubundan *A. Clathrata* 'nın ÇO ile ilişkileri ortaya çıkmıştır. El-Sheekh ve ark. (2010) *S. bicaudatus* 'un Nil Nehri'nin Mısır'daki kollarından Hadous ve Damietta Çaylar'ında yaygın olarak bulunduğunu ve ötrofikasyon göstergesi olduğunu bildirmişlerdir. Cadjo ve ark. (2005) ötrofik Tuna Nehri fitoplanktonu üzerine yaptıkları çalışmada, *T. komarekii* 'nin yüksek ÇO seviyeleri ile ilişkili olduklarını göstermişlerdir. Karadžić ve ark. (2013) Sırbistan'daki Subba Raju Nehri fitoplanktonu üzerine yaptıkları çalışmada, *A. Clathrata* 'nın seviyeleri ile ilişkili olduklarını göstermişlerdir.

CCA, *C. Vexatum* ve *D. pulchellum* 'un pH ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Stamenković ve Mirko, (2009) Sırbistan'daki Tisa Nehri desmidleri üzerine yaptıkları çalışmada, *C. Vexatum* 'a yüksek pH değerlerinde rastlamışlardır. Ertan ve Morkoyunlu (1998) Aksu Deresi (Isparta) alg florası üzerine yaptıkları çalışmada, *D. pulchellum* 'a yüksek pH değerlerinde rastlamışlardır.

Fitoplankton topluluğu tür kompozisyonu, su kütlelerinin ekolojik durumunun bir indikatörü olarak kullanılabilir (Çelekli ve Lekeşiz, 2021). Kille Çayı'nda tespit edilen baskın Fitoplankton türleri (Bacillariophyta grubundan *F. capucina*, *C. silesiaca*, *G. parvulum*, *N. subrhyncocephala*, *N. veneta*, Chlorophyta grubundan *C. vexatum*, *D. pulchellum*, *T. komarekii*, Cyanobacteria grubundan *A. clathrata* ve *C. Turgidus*) ötrof sulara yayılış gösteren türlerdendir (Memiş, 2019).

Ötrof karakterli bir Akarsu olan Dicle Nehrin'de, *F. capucina* yoğun olarak rastlanılmıştır (Varol ve Şen, 2014). Ötrof özellikte olan Nil Nehrin'de yapılan bir çalışmada yeşil alglerden *D. pulchellum* sık olarak görülmüştür (Abd El-Karim, 2015). Ötrof olan Subba Raju Nehrinde yapılan bir çalışmada, *A. Clathrata* yaygın olarak gözlenmiştir (Karadžić ve ark., 2013). Son olarak, su kaynaklarımızın korunması için ekolojik tarıma öncelik verilmeli, evsel ve endüstriyel atık suların da tersiyer olarak arıtıldıktan sonra alıcı ortamlar olan akarsulara verilmesi önerilir.

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

- Abd El-Karim MS. Survey to compare phytoplankton functional approaches: How can these approaches assess River Nile water quality in Egypt? The Egyptian Journal of Aquatic Research 2015; 41(3): 247-255.
- Almeida SF., Elias C., Ferreira J., Tornés E., Puccinelli C., Delmas F., Sabater S. Water quality assessment of rivers using diatom metrics across Mediterranean Europe: A methods intercalibration exercise. Science of the Total Environment 2014; 476: 768-776.
- Altuner Z., Gürbüz H. Karasu (Fırat) Nehri'nin epilitik ve epifitik algleri üzerine bir araştırma. X. Ulusal Biyoloji Kongresi Botanik Bildirileri. 18-20 Temmuz 1990, sayfa no: 203, Erzurum.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association; 2017.
- Atıcı T., Obalı O. A study on diatoms in upperpart of Çoruh River, Turkey. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1999; 12: 473-496.
- Atıcı T., Ahıska S. Pollution and algae of Ankara Stream. Gazi University Journal of Science 2005; 18: 51-59.
- Aysel V. Check-list of the freshwater algae of Turkey. Journal of Black Sea/Mediterranean Environment 2005; 11(1): 1-124.
- Cadjo S., Miletic A., Djurkovic A. Phytoplankton, physico-chemical and saprobiological characteristics of the Danube River, on the stretch through Serbia. 34th annual conference of the Yugoslav Water Pollution Control Society, 2005; 77-82, Belgrad, Serbia and Montenegro.
- Çelekli A., Lekesiz Ö. Eco-assessment of West Mediterranean basin's rivers (Turkey) using diatom metrics and multivariate approaches. Environmental Science and Pollution Research 2020; 27: 27796-27806.
- Çelekli A., Lekesiz Ö. Limno-ecological assessment of lentic ecosystems in the western Mediterranean basin (Turkey) using phytoplankton indices. Environmental Science and Pollution Research 2021; 28(3): 3719-3736.
- El-Sheekh M., Deyab M., Desouki S., El-Adl M. Phytoplankton compositions as a response of water quality in El Salam canal, Hadous drain and Damietta branch of River Nile, Egypt. Pakistan Journal of Botany 2010; 42(4): 2621-2633.
- Erdoğan Ö., Çiçek NL., Ertan ÖO. Manavgat Nehri Nehirağzı Bölgesi fitoplanktonunun mevsimsel dağılımı. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi 2012; 8: 9-21.
- Erdoğan Ö., Çiçek NL., Ertan ÖO. Köprüçay Nehri Nehirağzı Bölgesi fitoplanktonunun mevsimsel dağılımı. Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi 2015; 2(1): 31-41.
- Ertan OÖ., Morkoyunlu A. The Algae Flora of Aksu Stream (Isparta-Turkey). Turkish Journal of Botany 1998; 22: 239-255.
- Huber-Pestalozzi G. Das phytoplankton des süßwassers systematik und biologie, 8. Teil, 1. Halffe

- Conjugatophyceae Zygnematalesund Desmidiiales (excl. Zygnemataceae). Stuttgart: E. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller); 1982.
- John DM., Whitton BA. Brook AJ. The freshwater algal flora of the British isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae. The Natural History Museum and The British Phycological Society. London: Cambridge University Press; 2003.
- Kalyoncu H., Barlas M., Ertan ÖO. Aksu Çayı'nın su kalitesinin biotik indekslere (diatomlara ve omurgasızlara göre) ve fizikokimyasal parametrelere göre incelenmesi, organizmaların su kalitesi ile ilişkileri. TÜBAV Bilim Dergisi 2009; 2(1): 46-57.
- Karadžić V., Simić GS., Natić D., Ćirić M., Gačić Z. Changes in the phytoplankton community and dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Subba Raju in a temperate lowland river (Ponjavica, Serbia). Hydrobiologia 2013; 711: 43–60.
- Memiş Y. Boğacık Çayı (Giresun) algleri üzerine floristik bir çalışma. Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 75, Giresun, Türkiye, 2019.
- Morkoyunlu Yüce A., Gönülol A., Ertan ÖO., Erkebay Ş. Hereke Çayı alg florası (Kocaeli-Türkiye). Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research 2018; 4(1): 25-29.
- Piirsoo, K. Phytoplankton of Estonian rivers in midsummer. Hydrobiologia 2001; 444: 135–146.
- Round FE., Crawford RM., Mann DG. The diatoms: Morphology and biology of the genera. London: Cambridge University Press; 1990.
- Sims PA. An Atlas of British Diatoms. Bristol: Biopress Ltd.; 1996.
- Solak CN., Barinova S., Acs E., Dayıoğlu H. Diversity and ecology of diatoms from Felent creek (Sakarya River Basin) Turkey. Turkish Journal of Botany 2012; 36(2): 191-203.
- Stamenković M., Mirko C. Desmid flora (Chlorophyta, Zygnematophyceae) of the river Tisa in the Province of Vojvodina (Northern Serbia). Botanica Serbica 2009; 33 (1): 89-99.
- Tezel Ersanlı E., Öztürk R. Karasu Çayı fitoplankton topluluğu ve su kalitesi üzerine ekolojik ve istatistik bir değerlendirme. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi 2017; 20(3): 193-200.
- Varol M, Şen B., Dicle Nehri'nin planktonik alg florası. Journal of Fisheries Sciences.com 2014; 8: 252-264.
- ter Braak P., Smilauer CJF. Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination. New York: Ithaca Microcomputer Power; 2002.
- Toudjani AA., Çelekli A., Gürnüş EY., Kayhan S., Lekesiz HÖ., Çetin T. Assessment of ecological status using phytoplankton indices and multivariate analyses in the western Mediterranean Basin. Fundamental and Applied Limnology 2018; 191(2): 155-167.
- Wang JH., Li C., Xu YP., Li SY., Du JS., Han YP., Hu HY. Identifying major contributors to algal blooms in Lake Dianchi by analyzing river-lake water quality correlations in the watershed. Journal of Cleaner Production 2021; 315: 128144.
- Yıldız K. Diatoms of the Porsuk River, Turkey. Turkish Journal of Biology 1987; 11: 162-182.

Investigation of Pseudo-residue Existence Obtained from the Hands of Employees in Various Business Lines

Mehmet Erman MERT^{1*}, Cihat HİLAL²

¹Advanced Technology Research and Application Center, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana

²Department of Chemistry, Diyarbakır Regional Criminal Police Laboratory, Diyarbakır, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0002-0114-8707>

²<https://orcid.org/0000-0002-6966-6711>

*Corresponding author: memert@atu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 20.05.2022

Accepted: 09.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Forensic science
Antimony
Gunshot residues
SEM-EDS
GFAAS

ABSTRACT

Handswap analysis is carried out in criminal laboratories in order to illuminate the crime scenes in which firearms are used. The reliability of the results obtained from the analyzes is the subject of the chemistry department and is based on sample reliability. In this study, the hand swabs of people working in fifteen various business lines were obtained using transfer kit in order to acquire a scientific response to the issue of whether there would be shot residues in the hands of people in everyday life. Collected samples were first examined by Scanning Electron Microscopy (SEM-EDS). The elements of Sb&Ba&Pb, as well as their combinations, were investigated in the samples. After SEM-EDS analysis, all samples were analyzed using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) method to determine the amount of antimony element. According to the results, antimony element was detected on the surface of the caliper used in the printing house via GFAAS. Sb&Ba&Pb particles were also detected by SEM-EDS analysis in the swabs taken from the hands of the automobile battery repairman and the market cashier.

Çeşitli İş Kollarında Çalışanların Ellerinden Elde Edilen Yanıltıcı Kalıntı Varlığının Araştırılması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.05.2022

Kabul tarihi: 09.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Adli bilim
Antimon
Ateşli silah kalıntıları
SEM-EDS
GFAAS

ÖZ

Ateşli silahların kullanıldığı poliseye olayların aydınlatılması için kriminal laboratuvarlarında el svap analizi yapılmaktadır. Analizlerden elde edilen sonuçların güvenilirliği, kimya anabilim dalının konusu olup örneklem güvenilirliğine dayalıdır. Bu çalışmada, insanların günlük hayatta ellerinde kurşun kalıntısı olup olmayacağı konusuna bilimsel bir cevap verebilmek için on beş farklı iş kolunda çalışan kişilerin el sürüntüleri transfer kiti kullanılarak elde edilmiştir. Toplanan numuneler ilk olarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS) ile incelenmiştir. Numunelerde Sb&Ba&Pb elementleri ve bunların kombinasyonları incelenmiştir. SEM-EDS analizinden sonra tüm numuneler GFAAS yöntemi kullanılarak antimon element miktarının belirlenmesi için analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre matbaada kullanılan kumpasın yüzeyinde GFAAS aracılığıyla antimon elementi tespit edildi. Otomobil akü tamircisi ve market kasiyerinin ellerinden alınan sürüntülerde ayrıca SEM-EDS analizi ile Sb&Ba&Pb partikülü tespit edildi.

To Cite: Mert ME., Hilal C. Investigation of Pseudo-residue Existence Obtained from the Hands of Employees in Various Business Lines. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 261-274.

1. Introduction

Determining gunshot residue (GSR) evidence is an essential part of forensic investigation in firearm-related crimes (Fidan and İzgi, 2009; Kara et al., 2015; Goudsmits et al., 2016; Bender et al., 2021; Feeney et al., 2022; Yüksel et al., 2022). When firing occurs in firearms, a cloud of dust spreads from the muzzle of the gun and other cavities such as the barrel ejection cavity, thanks to the high heat and pressure created by firing (Aliste et al., 2020; Montoriol et al. 2021). This gas cloud is referred to as "GSR" because it comprises burnt or partially burned gunpowder remnants, metal particles, and lubricants (Chang et al., 2014; Ulrich et al., 2004). Antimony (Sb), lead (Pb), and barium (Ba) are the most common elements found in it (Tugcu et al., 2005; Dalby et al., 2010; Chang et al., 2013). Various volatile chemicals such as nitroglycerine, nitro guanine, and others make up the organic component, while heavy metals such as Sb, Pb, Ba, and others make up the inorganic component (Maitre et al., 2018; Shrivastava et al., 2021). These gunshot residues, which are often spherical and have distinct characteristics, might get up on the person carrying the gun's hands, face, or clothing (Dalby et al., 2010; Rijnders et al., 2010; Maitre et al., 2018; Blakey et al., 2019; Rosengarten et al., 2021). There are a variety of ways for collecting GSR samples, and choosing the best one is critical to maintaining optimal collection efficiency. Tape lifting, swabbing, vacuuming, and adhesive lifting are some of the methods used to collect data (Dalby et al., 2010; Gassner and Weyermann, 2020).

Color tests and instrumentation methods are used in analytical methodology to detect GSR (Tarifa and Almirall, 2015; Werner et al., 2020). Color spot tests such as paraffin test, cutaneous nitrate test, Walker test, Marshal and Tiwari test are used. However, it is stated that these procedures are insufficient for analysis as they will damage the sample and cause interaction with other media elements (Shrivastava et al., 2021). Many instrumental analysis instruments can perform qualitative and quantitative analyses with great precision and sensitivity. Examples of these devices are Scanning Electron Microscope (SEM) (Rosengarten et al., 2021), Atomic Absorption Spectrometer (AAS) (Yüksel et al., 2016), Neutron Activation Analysis (NAA) (Koons et al., 1987) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) (Aliste et al., 2020) etc. There are many studies have been obtained in the literature comparing the benefits and disadvantages of shot residue analysis methods (Matricardi and Kilty, 1977; Brozek-Mucha and Jankowicz, 2001; Taudte et al., 2014; Ali et al., 2016; Shrivastava et al., 2021). GFAAS, which has advantages such as cost, sensitivity, and quick analysis findings, and SEM, which has advantages such as analyzing the elemental composition of the particles and studying their morphological properties, are two procedures that are often employed (Chang et al., 2013; Hearn et al., 2015; Kara and Yalçinkaya, 2017; Bender et al., 2021; Caccia et al., 2021). Especially the analysis of Sb, Ba and Pb in the GSR can be obtained with high accuracy and precision by GFAAS and SEM-EDS. Although these particles are found in GSR, people hands may be contaminated by Sb, Ba and Pb, depending on the working environment in different business lines (Costa et al., 2016). As a result, these three elements, particularly Sb, were given considerable attention in the study of criminal (Di Maio, 1999; Yüksel et al., 2016; Stamouli et al., 2021; Tahirukaj

et al., 2021). It is known that Sb is used in some Pb alloys, as well as Sb, Ba and Pb components in the hands of people working in certain professions such as electrical installers and car mechanics (Romolo and Margot, 2001; Romolo et al., 2019) . In the study of Tucker et al. (2017), samples of a large number of particles containing both Ba and its derivatives were taken from the brake pads, rims and tires of various automotive manufacturers, as well as from the hands of workers who came into contact with these parts. As a result, Sb was found. Although this raises doubts about GSR, no particles containing all three components have been discovered. In fact, all three components must all be present for a particle to be termed GSR. Therefore the study is very important in terms of showing that pseudo-positive results cannot be accepted for these occupational groups in determining GSR.

In this study GSR-business line relations were expand and it was undertaken on participants from various business lines in order to get actual data on whether people can have gunshot residues in their hands as a result of their job and to provide a source for the literature.

2. Materials and methods

2.1. Sample Collection

This work was ethically approved by Diyarbakır Regional Criminal Police Laboratory, Turkish National Police, Diyarbakır, Turkey (Decision Number: 61956719-4590.(51368)-631/01.12.2021). A signed information form was supplied to each participant from whom the sample was obtained, in line with the principles of the Declaration of Helsinki, signed by the World Medical Association in 1964.

Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-ray Analyzer (SEM-EDS) was used to analyze the collected materials. For this purpose CARL ZEISS EVO SEM equipped with an Oxford Instruments AZTEC energy dispersive x-ray (EDS) spectrometry analysis system was used. The SEM-EDS analysis was conducted in accordance with ASTM Designation E 11496-8 by using Plano GSR and particle analysis calibration kit (Serial: 60806-5). Analysis was achieved via AZTEC software to maintain control of the SEM stage movements and electron beam positioning. The quantity of particles on the samples, their combinations, and the surface areas of Sb&Ba&Pb particles were all determined during the tests. The information about the SEM-EDS device and analysis conditions were given in Table 1.

Table 1. Information about the SEM-EDS device and analysis conditions

| | | |
|---------------|----------------------|------------|
| Brand/Model | Zeiss/Evo MA15 | |
| Flament Type | LaB6 | |
| Detector | Collector Bias 300 V | |
| System Vacuum | 1,07 e-06 mbar | |
| Diaphragm | Fil I Target | 1.700 A |
| | EHT | 20.000 kV |
| Electron Gun | Beam Current | 30 μ A |
| | EHT Target | 20.00 kV |

Agilent AA280Z brand graphite furnace atomic absorption spectrometer, included with Zeeman background correction was used to determine Sb concentration. Boosted discharge hollow cathode

lamps were used as the excitation source. The GFAAS instrumental operating parameters were listed in Table 2.

Table 2. Operating Parameters for GFAAS System

| | |
|--|---|
| Instrument | Zeeman |
| Element – Matrix | Antimony (Sb) |
| Instrument Mode | Absorbance |
| Current | 12.0 mA |
| Wavelength | 217.6 nm |
| Slit Width | 0.2 nm |
| Measurement Mode | Peak Height |
| Concentration Unit | µg/L |
| Replicates Standard | 3 |
| Number of Sample Readings | 1 |
| Calibration Algorithm | Linear |
| Control concentration | 10 µg/L |
| Standard Antimony Concentration and Standard Concentrations used for Calibration Curve | 100 µg/L (Standard 1: 20 µg/L, Standard 2: 40 µg/L, Standard 3: 60 µg/L, Standard 4: 80 µg/L) |

2.2. Procedure

The stock solution, which was 5% HNO₃ containing 100 µg/L Sb (High Purity Standards, Charleston, USA), was diluted by using 5% (v:v) HNO₃ for preparing the calibration standards which were 20, 40, 60 and 80 µg/L Sb solutions. Analysis samples were shaken at 200 rpm (revolutions per minute) for 30 minutes by adding 5 mL of 5% nitric acid.

2.3. Optimization and Sample Treatment

In order to obtain the best results in GFAAS and GSR measurements, it is necessary to pay attention to some important parameters such as choosing the appropriate wavelength for the matrix (217,6 nm for Sb), choosing the most suitable furnace program (in Table 3), and maintaining the linearity in the calibration curve (in Figure 1). As can be seen in Figure 1, the calibration plot obtained for Sb showed good linearity with 0,9998 regression coefficient (Absorbance = 0,0091xC + 0,0048).

Table 3. Graphite Furnace Temperature Program

| Step | Temperature (°C) | Time(s) | Argon gas flow rate time (L/min) | Reading and signal recording |
|------|------------------|---------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 95 | 5,0 | 0,3 | No |
| 2 | 120 | 20,0 | 0,3 | No |
| 3 | 300 | 20,0 | 0,3 | No |
| 4 | 750 | 10,0 | 0,3 | No |
| 5 | 750 | 10,0 | 0,3 | No |
| 6 | 750 | 2,0 | 0,0 | No |
| 7 | 2300 | 0,8 | 0,0 | Yes |
| 8 | 2300 | 0,8 | 0,0 | Yes |
| 9 | 2700 | 0,3 | 0,3 | No |

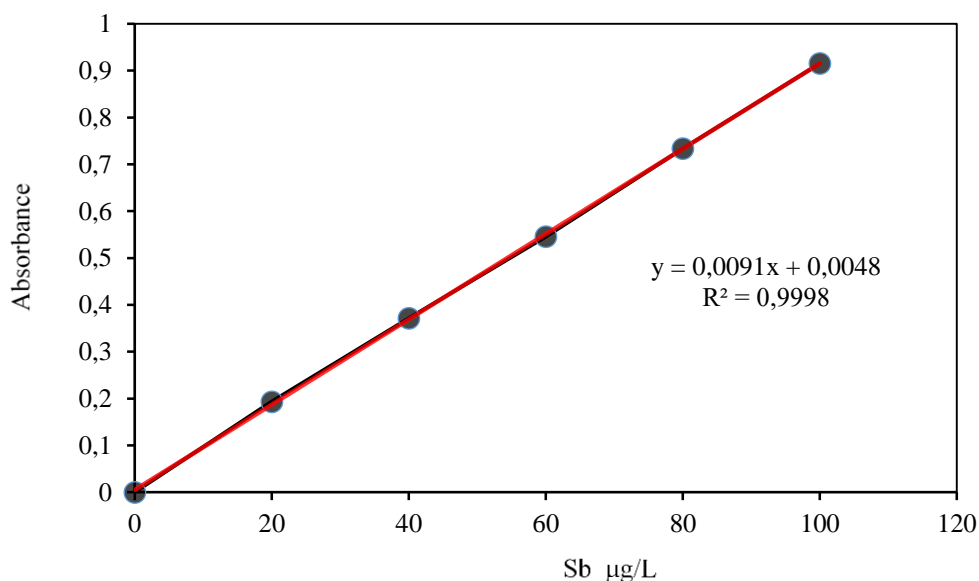


Figure 1. The calibration plot obtained for Sb analysis.

2. 4. Validation of Method

Certified reference solution of 100 µg/L Sb and prepared solutions were used ten times with triplicate measurements to verify the technique in terms of accuracy, precision, and recovery. The relative standard deviation (RSD) of 10 independent measurements of certified reference materials was used to determine the accuracy of the procedures. The certified value for Sb was 100±0,5 µg/L, while the measured values for Sb was 103.28±1,16 µg/L. The recovery and relative standard deviation (RSD) for Sb was 103,28% and 1,12%, According to these results, good agreement was obtained between the certified values and the measured Sb concentration.

2.5. Limit of Detection and Quantification

Limit of detection (LOD) and minimum limit of quantification (LOQ) values are crucial in determining the significance of identified GSR elements; because LOD is the lowest amount (void) of a substance that can be distinguished from its absence. value) has a specified confidence level and the LOQ can be defined as the lowest concentration at which the analyte can not only be accurately detected but also meets certain targets for bias, precision and total error.

For the purpose of this study, participants working in 15 different business lines in Diyarbakır were selected. The hand swabs of the participants were taken separately with the shot residue transfer kit before and after they washing hands. The business lines, sample numbers and abbreviation of sample code of the participants were given in Table 4.

Table 4. Business lines, sample numbers and abbreviation of sample code of the participants whose hand swabs were taken.

| Business lines | Sample Numbers | Abbreviation of Sample Code |
|--|-----------------------|------------------------------------|
| Phone Repairman* | 1+1 | 1a, 1b |
| Tinsmith* | 1+1 | 2a, 2b |
| Coppersmith* | 1+1 | 3a, 3b |
| Jeweler* | 1+1 | 4a, 4b |
| Printing Press Worker* | 2+1 | 5a, 5b, 5c |
| Silversmith* | 1+1 | 6a, 6b |
| Blacksmith/Welder* | 1+1 | 7a, 7b |
| Textile Worker* | 1+1 | 8a, 8b |
| Auto Engine Mechanic* | 1+1 | 9a, 9b |
| Auto Battery Repair* | 1+1 | 10a, 10b |
| Auto Body Repair* | 1+1 | 11a, 11b |
| Auto Electrical Mechanic* | 1+1 | 12a, 12b |
| Market Employee (Cashier)** | 1+1 | 13a, 13b |
| Shooting Range Employee (Shot)** | 1+1 | 14a, 14b |
| Person Carrying a Firearm (Has a License to Carry a Gun)** | 1+1 | 15a, 15b |

* were selected from the employees working in the workshop/production departments.

*** hand swabs were taken in line with their consent, at work and while performing their business line. A shot residue transfer kit was used for the right and left hands. “a” refers to samples taken without washing hands, “b” refers to samples taken after washing, and “c” refers to the caliper used in the printing press.

The analyses were obtained with two step procedure. Firstly SEM-EDS measurements were achieved in order to detect Sb&Ba&Pb and then samples were placed in swab boxes which were contained 5% (v/v) nitric acid solution, they were shaken at 220 rpm for 20 minutes before the GFAAS measurements in order to detect the presence of Sb. After shaking, 2 mL of solution were transferred to sample cups and used for the GFAAS analysis. 5% (v/v) nitric acid solution was used as the dilution solution, 1% (v/v) nitric acid solution was used as the washing solution. The calibration of the device was checked by reading the standard Sb solution every ten samples.

3. Results and Discussion

The determination of the chemical and physical characteristics of firearm residues is crucial criminalistic evidence (Tahirukaj et al., 2021). For this purpose, two main analyses can be done intensively. SEM-EDS is one of the most practical and speedy method. The technological advancements, analysis automation, advances in image processing and EDS spectra treatment software, as well as statistical techniques, have increased the feasibility of SEM analysis and the relevance of data interpretation. The GFAAS is the other alternative and cheap method. AAS also tell whether a person shot gun or not based on the amount of element or metal components present. The results obtained utilizing AAS can indicate at least 90% accuracy success (Shrivastava et al., 2021).

Due of the intense heat and pressure, GSR particles are released from the gun's barrel and muzzle blast during a shooting event. Many complicated processes are involved in the formation of these particles, which contain a variety of metal particles (aluminum, calcium, sulfur, copper, potassium, zinc, magnesium, sodium, and phosphorus, among others) as well as Sb, Ba, and Pb (Kara and Yalçinkaya, 2017).

Table 5. Analysis results of GSR according to business lines

| Sample No. | Business lines | SEM-EDS analysis | | | GFAAS analysis | | |
|------------|--|---------------------------------|--|------------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| | | Total Number of Particles (pcs) | Element Combinations | Sb&Ba&Pb number of particles (pcs) | Area of the largest Sb&Ba&Pb particle (μm^2) | Sb concentration ($\mu\text{g/L}$) | 10 ppb control concentration ($\mu\text{g/L}$) |
| 1a | Phone Repairman | 12724 | Pb, Sb, PbBa, PbSb | | | 1,32 | 9,61 |
| 1b | | 662 | Pb, Ba | | | 0,50 | |
| 2a | Tinsmith | 25749 | PbSb, Sb, Ba | | | 0,69 | |
| 2b | | 331 | Pb | | | 0,67 | |
| 3a | Coppersmith | 59901 | PbSb, Sb, Ba | | | 0,97 | |
| 3b | | 1552 | Pb, PbSb, Ba | | | 0,53 | |
| 4a | Jeweler | 98763 | Pb | | | 0,49 | |
| 4b | | 13789 | Pb, Sb, Ba | | | 1,16 | |
| 5a | Printing Press Worker | 1386 | Pb, PbSb, Sb, Ba | | | 2,51 | |
| 5b | | 394 | Pb, PbSb, Sb | | | 0,70 | |
| 5c | | 4307 | Pb, PbSb, Sb, Ba | | | 11,76 | 9,69 |
| 6a | Silversmith | 200.000 | Pb, PbSb, Ba | | | 0,86 | |
| 6b | | 91531 | Pb, PbBa, Sb, Ba | | | 2,05 | |
| 7a | Blacksmith/Welder | 148627 | Pb, Sb, Ba | | | 3,44 | |
| 7b | | 54348 | Pb, Sb, Ba | | | 0,86 | |
| 8a | Textile Worker | 13253 | Sb, Ba | | | 1,36 | |
| 8b | | 9481 | Pb, Sb, SbBa, Ba | | | 0,99 | |
| 9a | Auto Engine Mechanic | 25127 | Pb, PbSb, PbBa, Sb | | | 1,43 | |
| 9b | | 10481 | Pb, PbSb, Sb, Ba | | | 1,59 | |
| 10a | Auto Battery Repair | 7374 | Pb, PbSb, PbBa, Sb&Ba&Pb, Sb, SbBa, Ba | 1 | 0,34 | 4,22 | |
| 10b | | 485 | Pb, Ba | | | 0,03 | 9,58 |
| 11a | Auto Body Repair | 38233 | Pb, PbSb, Sb, Ba | | | 0,46 | |
| 11b | | 24297 | Pb, PbSb, Sb, Ba | | | 0,16 | |
| 12a | Auto Electrical Mechanic | 22586 | Pb, PbSb, PbBa, Sb, Ba | | | 1,51 | |
| 12b | | 1116 | Pb, Ba | | | -0,07 | |
| 13a | Market Employee (Cashier) | 23948 | Pb, Sb&Ba&Pb, Sb, SbBa, Ba | 1 | 1,85 | 0,48 | |
| 13b | | 444 | Pb, Sb, Ba | | | 0,71 | |
| 14a | Shooting Range Employee (Shot) | 200.000 | Pb, PbSb, Sb&Ba&Pb, PbBa, Sb, SbBa, Ba | 65671 | 2133,39 | 295,10 | |
| 14b | | 3315 | Pb, PbSb, Sb&Ba&Pb, PbBa, Sb, SbBa, Ba | 485 | 172,60 | 7,20 | |
| 15a | Person Carrying a Firearm (Has a License to Carry a Gun) | 630 | Pb, PbSb, Sb&Ba&Pb, Sb, SbBa | 38 | 25,38 | 12,87 | |
| 15b | | 210 | Pb, Sb, Ba | | | 3,90 | |

The determination of the chemical and physical characteristics of firearm residues is crucial criminalistic evidence (Tahirukaj et al., 2021). For this purpose, two main analyses can be done intensively. SEM-EDS is one of the most practical and speedy method. The technological advancements, analysis automation, advances in image processing and EDS spectra treatment software, as well as statistical techniques, have increased the feasibility of SEM analysis and the relevance of data interpretation. The GFAAS is the other alternative and cheap method. AAS also tell whether a person shot gun or not based on the amount of element or metal components present. The results obtained utilizing AAS can indicate at least 90% accuracy success (Shrivastava et al., 2021).

Due of the intense heat and pressure, GSR particles are released from the gun's barrel and muzzle blast during a shooting event. Many complicated processes are involved in the formation of these particles, which contain a variety of metal particles (aluminum, calcium, sulfur, copper, potassium, zinc, magnesium, sodium, and phosphorus, among others) as well as Sb, Ba, and Pb (Kara and Yalçinkaya, 2017). To acquire significant data on whether a suspect has fired or handled the firearm in samples collected from his hand, quantitative and qualitative examination of the key components of GSR, Sb, Ba, and Pb, should be undertaken. Antimony analysis is common, particularly using the GFAAS approach, because the risk of contamination from the environment is low. For this reason, it was preferred to determine the amount of Sb in the swabs examined in the determination of GSR residues. In order to minimize the variables in determining the persistence of the GSR particles on the hands, the participants were asked to wash their hands for a certain time (20 seconds), and samples were taken again after drying with a napkin.

The results of SEM-EDS and GFAAS measurements were presented in Table 5. As seen in Table 1, SEM-EDS analysis of the results numbered "10a" and "13a" revealed one piece characteristic GSR particle. The obtained areas were approximately 0,34 μm and 1,85 μm , for "10a" and "13a", respectively. These particles were relatively small and were detected after careful analysis. They were also proved with GFAAS measurements. The Sb levels detected in GFAAS analyses of "10a" and "13a" were similarly low which were 4,22 and 0,48 $\mu\text{g/L}$. These findings suggest that every "Sb&Ba&Pb" particle seen on the sample may not have come from the shot. The typical GSR particle (Grima et al., 2012; Romolo et al., 2019), which was belongs to shooting range employee (14a), micrograph was presented in Figure 2.

As seen from Figure 2, the main components of particle were Sb&Ba&Pb with the weight ratio of 15,6; 19,4 and 52,2%, respectively. The homogeneous dispersion was seen on the particle for each element. The samples "14a" "14b" and "15a" according to SEM-EDS analysis, were determined as GSR particles that might be transmitted from gunshot occurrences.

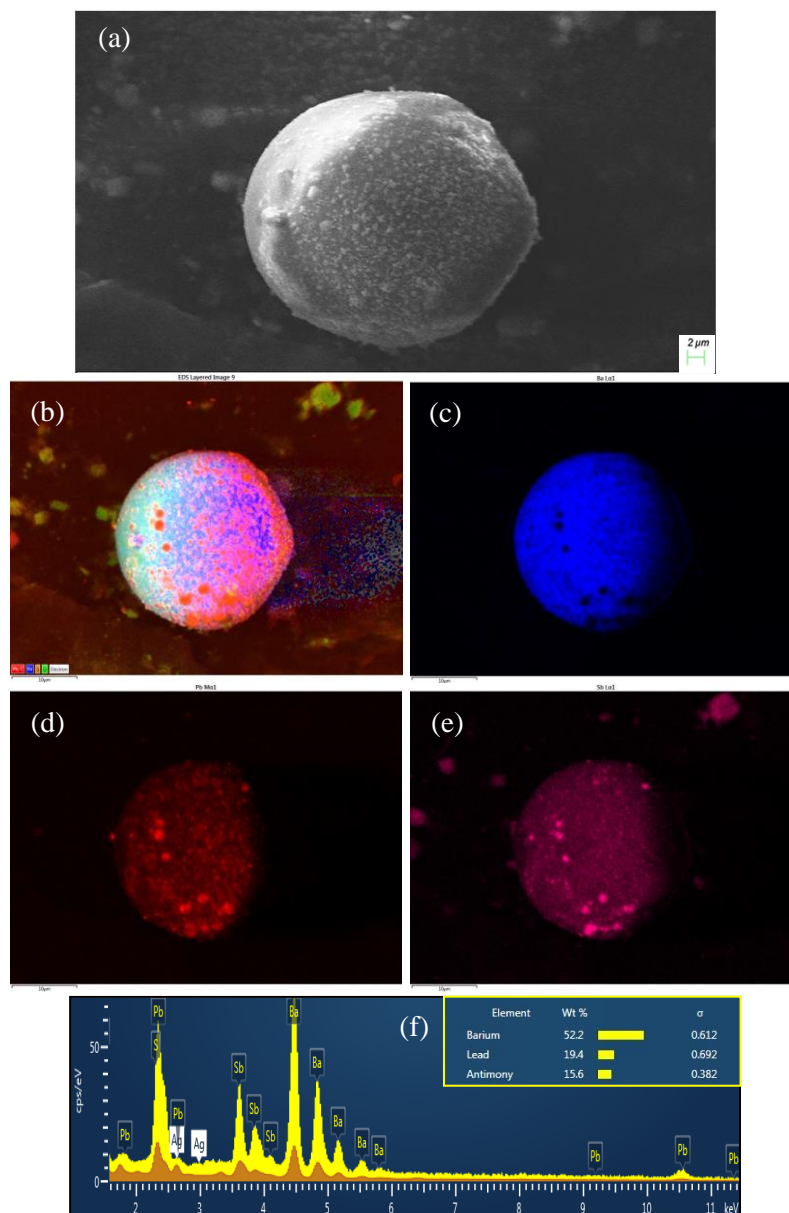


Figure 2. (a) A GSR particle with a typical spherical shape and a variety of components, (b) The energy-dispersive Xray (EDX) dot mapping of GSR particle, (c) Ba blue dot, (d) Pb red dot, (e) Sb purple dot and (f) The EDX spectra of GSR particle

In Table 5, the Sb&Ba&Pb particles numbers were 65671, 485 and 38 for "14a" "14b" and "15a", respectively. According to analysis of the standard sample, it was from the proficiency testing GSR 2005 PT by ENFSI GSR 2005 PT it was achieved by Tahirukaj et al., (2021) particles with diameter 0,5, 0,8, 1,2, and 2,4 μm were detected. The Total no of detected particles were 98, from 0,5 to 2,4 μm ; and the standard deviation (SD) was 2.06. For the particles sizes which were higher than 1.2 μm , SD was zero. During the four week for investigated particles the sensitivity varied between 97%-93%.

Romano et al., (2020) investigated the particles which were collected from both the cartridge cases and the shooters' hands after shooting tests from six volunteers fired two shots for each ammunition. Several elements, such as aluminium, potassium, silicon, sulphur, titanium and zinc were found in gunshot residue (GSR) particles. The GSR particles were found on the hands of shooters until 6 h after the shots. Particles were varied between 0,5 and 14,5 µm. The total number of particles were varied between 36 – 5 for 6h duration time.

In this study, the particles were varied between 630- 200.000 but the GSR particles number were varied from 38 to 65671 (Table 5). The GFAAS analysis confirmed the SEM-EDS results, the obtained Sb concentrations (µg/L) were 295,10, 7,20, and 12,87 for "14a," "14b," and "15a," respectively. Although the Sb, which is the main component of GSR, was discovered by the GFAAS analysis of the all samples examined, none of the other results could be detected in significant concentrations, with the exception of the findings "5c," "14a," "14b," and "15a". Despite the fact that the analysis of 5c, performed with the GFAAS technique, revealed the amount of Sb was 11,76 µg/L, in the analysis of SEM-EDS, there was not any "Sb&Ba&Pb" characteristic particle was seen. These findings revealed that not all Sb-positive results recorded by the GFAAS were caused by the gunshot.

4. Conclusion

Hand swabs from persons working in fifteen various business lines were gathered for this study and were investigated using SEM-EDS and GFAAS analyses to provide a scientific response to the question of whether people will have lead residue in their hands in daily life. Since the Sb concentration determined by GFAAS analysis is quite high compared to other samples, the focus is on the samples "14a", "14b" and "15a". Furthermore, the results of the analysis with SEM-EDS showed that the numbers of characteristic particles in these samples ("14a", "14b" and "15a") were higher and the surface areas were larger. The typical GSR particle was not detected in the SEM-EDS analysis for "5c," on the other hand, but we observed the positive result achieved by the GFAAS. This finding demonstrated that, despite the presence of Sb in the sample, it could not be classified as GSR. On the basis of SEM-EDS and GFAAS analysis of GSR suspected samples, we also investigated "the washing effect," with the findings showing that gunshot remains on samples taken after washing the hands either vanished completely or were significantly reduced, particularly for "14b."

As a consequence, it was advised that the detected antimony element concentration should be above a threshold value when evaluating the positive AAS analysis result. Furthermore, while evaluating the SEM-EDS analysis results, it has been advised that the discovered distinctive particle counts, surface areas, and morphologies be taken into account.

Acknowledgements

We would like to thank the Diyarbakır Regional Criminal Police Laboratory and Department of Police Forensic Laboratories for their support.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Contribution of authors

All authors contributed equally to the experiments and writing of the text.

Reference

- Ali L., Brown K., Castellano H., Wetzel SJ. A study of the presence of gunshot residue in pittsburgh police stations using SEM/EDS and LC-MS/MS. *Journal of Forensic Sciences* 2016; 61(4): 928-938.
- Aliste M., Arranz S., Sanchez-Ortega A., Sampedro MC., Unceta N., Gomez-Caballero A., Vallejo A., Goicolea MA., Barrio RJ. Particle analysis for the detection of gunshot residue (GSR) in nasal samples using scanning laser ablation and inductively coupled plasma-mass spectrometry (SLA-ICPMS). *Journal of Forensic Sciences* 2020; 65(4): 1094-1101.
- Bender R., Neimke D., Niewöhner L., Barth M., Ebert M. Discrimination of SINTOX® GSR against environmental particles and its automated investigation by SEM/EDS. *Forensic Chemistry* 2021; 24: 100338-100354.
- Blakey LS., Sharples GP., Chana K., Birkett JW. The fate and behaviour of gunshot residue: recreational shooter distribution. *Australian Journal of Forensic Sciences* 2019; 51: 176-179.
- Brozek-Mucha Z., Jankowicz A. Evaluation of the possibility of differentiation between various types of ammunition by means of GSR examination with SEM-EDX method. *Forensic Science International* 2001; 123: 39-47.
- Caccia G., Mazzarelli D., Amadasi A., Rizzi A., Caccianiga M., Cattaneo C. SEM-EDX analysis of microscopic surface debris collected from the skin - preliminary study. *Australian Journal of Forensic Sciences* 2021; 1-21.
- Chang KH., Jayaprakash PT., Abdullah AFL. Application of different standard loading approaches during solid phase microextraction for forensic analysis of single particle smokeless powders. *Australian Journal of Forensic Sciences* 2014; 47(2): 147-160.
- Chang KH., Jayaprakash PT., Yew CH., Abdullah AFL. Gunshot residue analysis and its evidential values: a review. *Australian Journal of Forensic Sciences* 2013; 45(1): 3-23.
- Comanescu MA., Millett TJ., Kubic TA. A study of background levels of antimony, barium, and lead on vehicle surface samples by graphite furnace atomic absorption. *Journal of Forensic Sciences* 2019; 64(2): 565-569.
- Costa RA., Motta LC., Destefani CA., Rodrigues RRT., Santo KSE., Aquije GMFV., Boldrini R., Athayde GPB., Carneiro MTWD., Romao W. Gunshot residues (GSR) analysis of clean range ammunition using SEM/EDX, colorimetric test and ICP-MS: A comparative approach between the analytical techniques. *Microchemical Journal* 2016; 129: 339-347.

- Dalby O., Butler D., Birkett JW. Analysis of gunshot residue and associated materials-a review. *Journal of Forensic Sciences* 2010; 55(4): 924-943.
- Di Maio VJM. *Gunshot Wounds, Practical Aspects of Firearms, Ballistics and Forensic Techniques*. New York, CRC Press., 1999.
- Feeney W., Menking-Hoggatt K., Arroyo L., Curran J., Bell S., Trejos T. Evaluation of organic and inorganic gunshot residues in various populations using LC-MS/MS. *Forensic Chemistry* 2022; 27: 100389-100400.
- Feeney W., Menking-Hoggatt K., Pyl CV., Ott CE., Bell S., Arroyo L., Trejos T. Detection of organic and inorganic gunshot residues from hands using complexing agents and LC-MS/MS. *Analytical Methods* 2021; 13(27): 3024-3039.
- Fidan NF., İzgi B. Determination of antimony in gunshot residues (GSR) by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Bulgarian Chemical Communications* 2009; 41(4): 404-408.
- Gassner AL., Weyermann C. Prevalence of organic gunshot residues in police vehicles. *Science and Justice* 2020; 60(2): 136-144.
- Goudsmits E., Sharples GP., Birkett JW. Preliminary classification of characteristic organic gunshot residue compounds. *Science and Justice* 2016; 56(6): 421-425.
- Grima M., Butler M., Hanson R., Mohameden A. Firework displays as sources of particles similar to gunshot residue. *Science and Justice* 2012; 52(1): 49-57.
- Hearns NG., Lafleche DN., Sandercock ML. Preparation of a ytterbium-tagged gunshot residue standard for quality control in the forensic analysis of GSR. *Journal of Forensic Sciences* 2015; 60(3): 737-742.
- Kara I., Lisesivdin SB., Kasap M., Er E., Uzek U. The relationship between the surface morphology and chemical composition of gunshot residue particles. *Journal of Forensic Sciences* 2015; 60(4): 1030-1033.
- Kara İ., Yalçinkaya Ö. Evaluation of persistence of gunshot residue (GSR) using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) method. *Bulgarian Chemical Communications* 2017; 49(1): 101-108.
- Koons RD., Havekost DG., Peters CA. Analysis of gunshot primer residue collection swabs using flameless atomic absorption spectrophotometry: a reexamination of extraction and instrument procedures. *Journal of Forensic Sciences* 1987; 32(4): 846-865.
- Maitre M., Kirkbride KP., Horder M., Roux C., Beavis A. Thinking beyond the lab: organic gunshot residues in an investigative perspective. *Australian Journal of Forensic Sciences* 2018; 1-7.
- Matricardi VR., Kilty W. Detection of gunshot residue particles from the hands of a shooter. *Journal of Forensic Sciences* 1977; 2: 725-738.
- Montoriol R., Guilbeau-Frugier C., Aries S., Onfroy L., Lombardi V., Payre B., Cassard H., Feki N., Telmon N., Savall F. Gunshot residue detection in stagnant water: SEM-EDX or ICP-MS? A preliminary study. *Journal of Forensic Sciences* 2021; 66(4): 1267-1275.

- Rijnders MR., Stamouli A., Bolck A. Comparison of GSR composition occurring at different locations around the firing position. *Journal of Forensic Sciences* 2010; 55(3): 616-623.
- Romano S., De-Giorgio F., D'Onofrio C., Gravina L., Abate S., Romolo FS. Characterisation of gunshot residues from non-toxic ammunition and their persistence on the shooter's hands. *International Journal of Legal Medicine* 2020; 134: 1083-1094.
- Romolo FS., Bailey MJ., Jesus J., Manna L., Donghi M. Unusual sources of Sn in GSR. An experimental study by SEM and IBA. *Science & Justice* 2019; 59(2): 181-189.
- Romolo FS., Margot P. Identification of gunshot residue: a critical review. *Forensic Science International* 2001; 119: 195-211.
- Rosengarten H., Israelsohn O., Sirota N., Mero O. Finding GSR evidence on used towels. *Forensic Science International* 2021; 328: 111032-111036.
- Shrivastava P., Jain VK., Nagpal S. Gunshot residue detection technologies-a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 2021; 11(1): 1-21.
- Stamouli A., Niewöhner L., Larsson M., Colson B., Uhlig S., Fojtasek L., Machado F., Gunaratnam L. Survey of gunshot residue prevalence on the hands of individuals from various population groups in and outside Europe. *Forensic Chemistry* 2021; 23: 100308-100316.
- Tahirukaj M., Olluri B., Surleva A. A study of the effect of working parameters and validation of SEM/EDS method for determination of elemental composition of commonly encountered GSR samples in shooting events in Kosovo. *Journal of Forensic Sciences* 2021; 66(6): 2393-2404.
- Tarifa A., Almirall JR. Fast detection and characterization of organic and inorganic gunshot residues on the hands of suspects by CMV-GC-MS and LIBS. *Science & Justice* 2015; 55(3): 168-175.
- Taudte RV., Beavis A., Blanes L., Cole N., Doble P., Roux C. Detection of gunshot residues using mass spectrometry. *BioMed Research International* 2014: 965403-965419.
- Tucker W., Lucas N., Seyfang KE., Kirkbride KP., Popelka-Filcoff RS. Gunshot residue and brakepads: Compositional and morphological considerations for forensic casework. *Forensic Science International* 2017; 270: 76-82.
- Tugcu H., Yorulmaz C., Bayraktaroglu G., Uner HB., Karslioglu Y., Koc S., Ulukan MO., Celasun B. Determination of gunshot residues with image analysis: an experimental study. *Military Medicine* 2005; 170(9): 802-805.
- Ulrich A., Moor C., Vonmont H., Jordi HR., Lory M. ICP-MS trace-element analysis as a forensic tool. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2004; 378(4): 1059-1068.
- Werner D., Gassner AL., Marti J., Christen S., Wyss P., Weyermann C. Comparison of three collection methods for the sodium rhodizonate detection of gunshot residues on hands. *Science & Justice* 2020; 60(1): 63-71.
- Yüksel B., Ozler-Yigiter A., Bora T., Sen N., Kayaalti Z. GFAAS determination of antimony, barium, and lead levels in gunshot residue swabs: an application in forensic chemistry. *Atomic Spectroscopy* 2016; 37(4): 164-169.

Yüksel B., Şen N., Ögünç GI., Erdoğan A. Elemental profiling of toxic and modern primers using ICP-MS, SEM-EDS, and XPS: an application in firearm discharge residue investigation. Australian Journal of Forensic Sciences 2022; 1-18.

Yol Tasarım ve İşletme Sorunlarının Trafik Kazaları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Buca Koop. Mahallesi Örneği

Yağmur Özinal AVŞAR^{1*}, Zeynel Baran YILDIRIM², Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLİ³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-8083-6494>

²<https://orcid.org/0000-0003-4068-7161>

³<https://orcid.org/0000-0002-0530-3276>

*Sorumlu yazar: yagmur.ozinal@deu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.04.2022

Kabul tarihi: 21.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Yol geometrisi

Kentsel ulaşım

Trafik sakinleştirme

Kaza analizi

Ulaşım sorunları

Bu çalışmada, İzmir ili Buca ilçesinde belirlenen bir yol ağına ait tasarım ve işletme özelliklerine ilişkin sorunların trafik güvenliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma arazi gözlemleri ve bu gözlemlerden elde edilen bilgiler ışığında yapılan kaza analizlerini içermektedir. Arazi gözlemleri ile tespit edilen sorunlar 12 ana başlık altında toplanmış ve bu sorunların çalışma bölgesinde oluşan trafik kazaları üzerindeki etkisi ve araç gecikmeleriyle olan ilişkisi araştırılmıştır. Değerlendirmeye alınan süre içerisinde çalışma alanında bulunan yollarda 180 adet kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların %43,3'ünün yandan çarpma, %28,3'ünün ise yayaya çarpma şeklinde olduğu belirlenmiştir. Kaza türleri ile ilişkili bulunan sorunlar tespit edilerek sorunların çözümüne yönelik yol güvenliğini artıran ve trafik koşullarını iyileştiren düzenlemeler önerilmiştir.

An Investigation of the Effects of Road Design and Operation Problems on Traffic Accidents: A Case of Buca Koop. Neighborhood

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 29.04.2022

Accepted: 21.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Road geometry

Urban transportation

Traffic calming

Accident analysis

Transportation issues

The effects of problems related to the design and operation characteristics of a road network determined in the Buca district of İzmir province on traffic safety were investigated in this study. The study includes field observations and accident analyses made in the light of the information obtained from these observations. The problems identified by field observations were collected under 12 main headings and the effects of these problems on traffic accidents in the study area and their relationship with vehicle delays were investigated. During the period taken into consideration, 180 accidents occurred on the roads in the study area. It was determined that 43,3% of these accidents were side collisions and 28,3% were pedestrian collisions. By identifying the problems associated with the types of accidents, regulations that increase road safety and improve traffic conditions are proposed for the solution of the problems.

To Cite: Avşar YÖ., Yıldırım ZB., Çalışkanelli SP. Yol Tasarım ve İşletme Sorunlarının Trafik Kazaları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Buca Koop. Mahallesi Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 275-288.

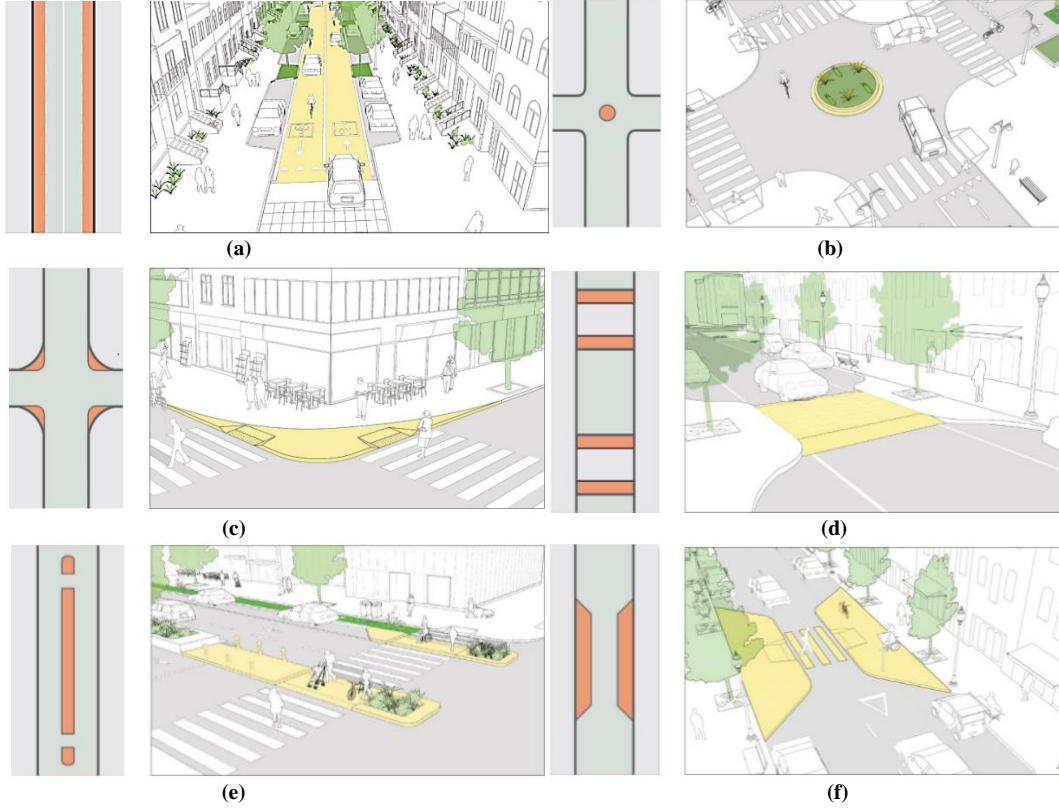
1. Giriş

Karayollarının yoğun talep görmesi, nüfusa paralel artan araç sayısı ve kural ihlalleri beraberinde ölümlü/yaralanmalı kazaların meydana gelmesine neden olmaktadır. Trafik kazaları, ölüm ve yaralanmalara neden olan ayrıca büyük maddi kayıplarla sonuçlanan birey ve toplum yaşamı üzerindeki olumsuz etkileriyle günümüzün en önemli ulaşım problemlerinden birisidir (Erjem, 2005). Trafik kazalarına ait bilgiler, kazaların oluş türlerine göre sınıflandırılmasına ve nedenlerinin incelenerek önlemler alınmasına yardımcı olmaktadır. Meydana gelen kazaların sayı ve sebepleri göz önüne alındığında en önemli etkenin hız olduğu görülmektedir (KGM, 2018). Kazaya sebep olan etkenlerden bir başkası sürücü davranışlarına bağlı faktörler ve trafik kurallarına uyum oranıdır (Park ve ark., 2007; Kim ve ark., 2009). Bunların yanı sıra yol tasarımı ve işaretlemesinden kaynaklanan sebeplere ilave olarak özellikle kavşak alanlarında kurallara uygun olmayan davranışlar veya ihlaller nedeniyle bu bölgelerin de riskli yol kesimleri olduğu bilinmektedir (Lewin, 1982; Rodegerdts ve ark., 2010).

Trafik kazalarının önlenmesi için son yıllarda uygulanan en etkin yöntemlerden biri trafiğin sakinleştirilmesi/durağanlaştırılması amacıyla yapılan uygulamalardır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar hem bir ulaşım planlaması yöntemi hem de bir ulaşım politikası olup trafik kazalarının önlenmesi amacıyla kullanılabilir (Lockwood, 1997). Trafikin sakinleştirilmesi, motorlu araç kullanımının olumsuz etkilerini azaltmak, sürücü davranışlarını değiştirmek, sürücü ve yayaların güvenliğini sağlamak için alınan çeşitli fiziksel ve yönetsel önlemlerden oluşan yaklaşımlar olarak birçok ülkede başarıyla uygulanmaktadır (Lajunen ve ark., 2004; Warner ve ark., 2011; Üzümcüoğlu ve ark., 2019). Şekil 1.'de trafik sakinleştirme uygulamalarından bazıları gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı türde trafik sakinleştirme senaryoları tasarlanarak mevcut yol güvenliğinin artırılmaya çalışıldığı belirlenmiştir (Akbari ve Haghghi, 2020; Hu ve Cicchino, 2020). Çalışmaların birçoğunda çeşitli simülasyon programları ve sürüş simülatörleri kullanılarak araç hızlarının azaltıldığı ve yayalar için daha güvenli bölgelerin oluşturulduğu trafik sakinleştirme uygulamalarına rastlanmaktadır (Galante ve ark., 2010; Lee ve ark., 2013; Ariën ve ark., 2014). Akdeniz Üniversitesi kampüsünde farklı senaryolarda yapay kurba uygulaması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde ise çeşitli kavşak tiplerinden oluşan senaryoların trafik güvenliği üzerindeki etkileri incelenmiştir (Akalin ve ark., 2019; Aydın ve ark., 2019). Huang ve Cynecki (2000) kavşak ve yaya geçitlerinde uyguladıkları trafik sakinleştirici önlemlerin yaya ve sürücü davranışları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, trafiğin sakinleştirilmesine yönelik olarak uygulanan genişletilmiş kaldırımlar, refüjler, yükseltilmiş yaya kaldırımları ve kavşak uygulamaları için önceki ve sonraki durumlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda trafiği sakinleştirmeye yönelik uygulanan önlemlerin, yaya geçiş noktalarında yaya güvenliğini artırma potansiyeline sahip olduğu görülmüş ancak bu önlemlerin tek başına sürücülerini yavaşlatmaya ve yayalara yol vermeye yönelik direkt bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Distefano ve Leonardi (2019) hız tablası, yol daraltma ve yapay viraj gibi trafik sakinleştirici önlemlerin araç hızlarının azaltılmasındaki etkinliğini

incelemiş, hız tablalarının kaza yüzdelerinin düşmesinde ve araç hızlarının azalmasında daha etkili olduğuna ulaşmıştır. Jateikienė ve ark., (2016) Litvanya'daki yollarda bulunan kasis, yükseltilmiş yaya geçitleri, orta ayırıcılar ve hız kameraları gibi trafik sakinleştirici önlemlerin trafik güvenliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Analizler sonucunda yükseltilmiş yaya geçitlerinin görünürlüğünün daha fazla olması sebebiyle hızların azaltılmasında etkili olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Trafik sakinleştirme uygulamaları (Initiative ve Officials, 2016)

Çalışmada, yol tasarım özellikleri ve trafik yönetim koşullarının yol güvenliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla İzmir il sınırları içerisinde yer alan Buca ilçesinin Buca Koop. Mahallesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına ait plan ve haritalar incelenmiş, yapılan arazi çalışmaları ile yol ağına ilişkin geometrik problemler tespit edilerek trafik akımına ilişkin veriler toplanmıştır. İkinci aşamada Emniyet Genel Müdürlüğünden alınan trafik kaza tutanakları incelenerek çalışma bölgesi sınırlarında meydana gelen trafik kazaları tespit edilmiştir. Bölgede oluşan kaza tutanakları, gözlemler ile belirlenmiş olan sorunların ilişkisini açıklayabilmek amacıyla bir nedensellik tablosu oluşturulmuş ve çeşitli çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde çalışma alanı, üçüncü bölümde ise kullanılan yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde çalışma alanına ilişkin trafik kaza verilerinin analizi, beşinci ve altıncı bölümlerde ise bulgular ve sonuçlar verilmiştir.

2. Çalışma Alanı

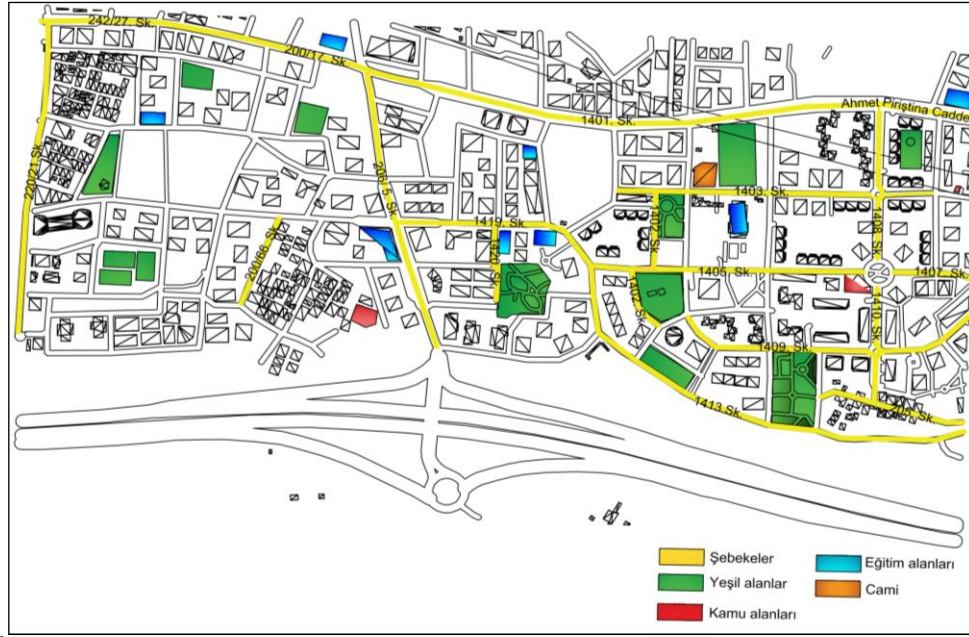
Çalışma İzmir ili, Buca ilçesi, Buca Koop. Mahallesi sınırları içinde yapılmıştır. Buca Koop. Mahallesinin özel/toplu konut alanları bulunan, yapılaşma ve yol geometrisi açısından diğer Buca semtlerine göre daha iyi planlandığı görülmektedir. Buca Koop. Mahallesi şehir merkezine uzak olmakla birlikte Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe yerleşkesine komşu, İzmir çevre yolunun kıyısında, yoğun trafik talebi bulunan bulvarların yanı sıra farklı yol kademelerinin incelenebileceği bir yol ağına sahiptir. Çalışma alanı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İzmir-Buca Koop. Mahallesi, mahalle sınırları, analiz bölgesi

3. Yöntem

Çalışmada öncelikli olarak, belirlenen çalışma alanına ait paftalar elde edilmiş ve pafta üzerinde bölgenin kullanım fonksiyonları incelenmiş ve bölgeye hizmet eden yollar belirlenmiştir (Şekil 3). Sonraki aşamada, belirlenen yol ağına 2021 yılı Mayıs-Haziran aylarında arazi çalışmaları yapılmış ve yol ağına ait kesit özellikleri ile trafik yönetimine ilişkin sorunlar incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yol ağı üzerinde tespit edilen sorunlar 12 başlıkta toplanmıştır. Tablo 1’de, belirlenen 12 sorun ile trafik kazası ya da trafik sıkışıklığı/gecikme arasındaki ilişki verilmiştir. Sorunların kaza riski ve gecikme oluşturma açısından ilişkisi zayıf-orta ve güçlü olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Buca Koop. Mahallesi'nde incelenen yol ağı

Tablo doldurulurken “Z” zayıf bir ilişki bulunduğunu, “O” orta şiddette bir ilişki olduğunu, “G” güçlü bir ilişki olduğunu ve “M” ise mevcut durumu ifade etmektedir. Tablo 1 incelendiğinde ağı oluşturan yolların zaman zaman dâhil oldukları sınıf ile geometrik özelliklerinin uyuşmadığı göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra, kaplamaya ilişkin bozukluk, en kesit süreksizlikleri ve bakım ve onarıma ilişkin çeşitli sorunlar yine tablo üzerinde kaza riski ve gecikmeler ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma alanı genel olarak incelendiğinde, hatalı park/park yeri problemleri bölgenin tamamında gözlemlenmiş olup mevcut durum sorunu olarak “M” ile belirtilmiştir. Ahmet Piriştina Caddesi’nde yapılan saha çalışmalarında, yüksek yaya yoğunluğu olduğu tespit edilmiş ve bu durumun trafik sıkışıklığı ve gecikme bakımından incelendiğinde güçlü bir etkisi olduğundan “G” ile gösterilmiştir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, incelenen ağ üzerinde tespit edilen sorunlar ile bu bölgede 2013-2020 yılları arasında meydana gelen kaza verileri incelenmiş ve tespit edilen sorunlar ile kazalar arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır.

Tablo 1. İncelenen yol ağına ait trafik sorunları ve nedensellik tablosu

| | | Yol Sınıfı ve Geometrik Özellikler Arasındaki Çelişki | Fiziksel Bozukluklar | Yatay ve Düşey Kurp Tasarım Problemleri | En Kesit Bozuklukları | Yüksek Yaya Yoğunluğu | Kaldırım Düzensizlikleri | Bakım, Onarım Eksiklikleri | Yol Kenarı Ağaçlandırması ve Çöp Kutularının Trafik Akımına Etkisi | Işıklandırma Eksikliği | Hatalı Park /Park Yeri Problemleri | Otobüs Durak Noktalarının Uygunsuzluğu | Sürücü Hataları |
|-------------------------|----------------------------|---|----------------------|---|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--|------------------------|------------------------------------|--|-----------------|
| Tanınım | Mevcut Trafik sorunu | | | | | | | | | | | | |
| 1403. Sokak | Kaza Riskleri | | Z | Z | | G | | O | | | G | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | | | | O | | | | | G | | |
| | Mevcut | | M | M | | M | | M | | | M | | M |
| 1405. Sokak | Kaza Riskleri | G | Z | Z | Z | G | O | | | | G | | |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | G | Z | O | | G | O | | | | G | O | O |
| | Mevcut | M | M | M | M | M | M | | | | M | M | M |
| 1407. Sokak | Kaza Riskleri | G | Z | Z | | O | Z | | Z | Z | G | O | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | G | Z | Z | | O | Z | | Z | Z | G | O | Z |
| | Mevcut | M | M | M | | M | M | | M | M | M | M | M |
| 1408. Sokak | Kaza Riskleri | Z | Z | | | | O | Z | G | O | G | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | Z | | | | | O | Z | G | O | G | | Z |
| | Mevcut | M | M | | | | M | M | M | M | M | | M |
| 1409. Sokak | Kaza Riskleri | O | G | G | Z | G | G | Z | Z | O | G | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | O | O | O | O | G | G | Z | Z | O | G | | |
| | Mevcut | M | M | M | M | M | M | M | M | M | M | | M |
| 1410. Sokak | Kaza Riskleri | Z | | | | O | | Z | | O | G | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | Z | | | | O | | Z | | O | G | | |
| | Mevcut | M | | | | M | | M | | M | M | | M |
| 1413. Sokak | Kaza Riskleri | O | G | O | Z | Z | Z | O | | O | Z | | O |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | O | O | O | Z | Z | Z | O | | O | Z | | Z |
| | Mevcut | M | M | M | M | M | M | M | | M | M | | M |
| 1419. Sokak | Kaza Riskleri | O | | O | | G | | O | | | G | Z | O |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | O | | | | G | | O | | | G | Z | O |
| | Mevcut | M | | M | | M | | M | | | M | M | M |
| 1420. Sokak | Kaza Riskleri | | G | | | Z | Z | O | | O | O | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | G | | | Z | Z | O | | O | O | | |
| | Mevcut | | M | | | M | M | M | | M | M | | M |
| 205. Sokak | Kaza Riskleri | Z | O | Z | | G | O | Z | | | G | G | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | Z | O | Z | | G | Z | Z | | | G | G | O |
| | Mevcut | M | M | M | | M | M | M | | | M | M | M |
| Ahmet Piriştina Caddesi | Kaza Riskleri | | Z | G | O | G | O | Z | | Z | O | O | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | Z | | O | G | O | Z | | Z | O | O | O |
| | Mevcut | | M | M | M | M | M | M | | M | M | M | M |
| 220/21. Sokak | Kaza Riskleri | O | Z | G | Z | G | G | Z | | O | Z | Z | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | O | | | | G | G | Z | | O | O | O | G |
| | Mevcut | M | M | M | M | M | M | M | | M | M | M | M |
| 200/66. Sokak | Kaza Riskleri | O | O | | | | Z | Z | | | | | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | Z | | | | | Z | O | | | O | O | |
| | Mevcut | M | M | | | | M | M | | | M | M | M |
| 206/5. Sokak | Kaza Riskleri | Z | O | G | | G | O | Z | O | Z | O | | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | | | Z | G | G | | | | G | | G |
| | Mevcut | M | M | M | M | M | M | M | M | M | M | | M |
| 1401. Sokak | Kaza Riskleri | | O | O | | G | | | Z | | Z | Z | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | Z | | | G | Z | Z | Z | | O | Z | G |
| | Mevcut | | M | M | | M | M | M | M | | M | M | M |
| 242/27. Sokak | Kaza Riskleri | | O | Z | | G | O | | | | O | Z | Z |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | | | | | G | | | | | O | O | O |
| | Mevcut | | M | M | | M | M | | | | M | M | M |
| 200/17. Sokak | Kaza Riskleri | G | | Z | | O | | O | | | G | Z | G |
| | Trafik Sıklığı, Gecikmeler | G | | Z | | O | | O | | | G | Z | O |
| | Mevcut | M | | M | | M | | M | | | M | M | M |
| Güçlü | G | | | | | | | | | | | | |
| Orta | O | | | | | | | | | | | | |
| Zayıf | Z | | | | | | | | | | | | |
| Mevcut | M | | | | | | | | | | | | |

4. Trafik Kazaları Analizi

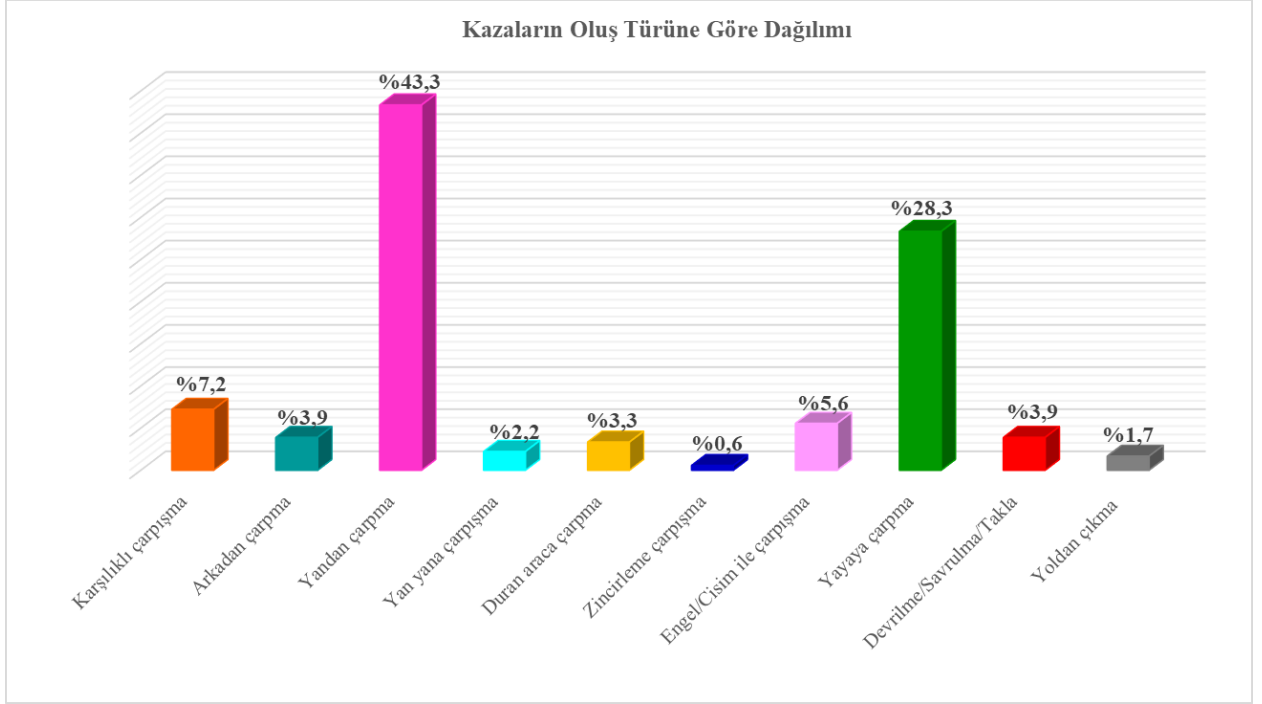
Trafik kazalarının ardındaki nedenlere bakıldığında, büyük bir çoğunluğunun insan kaynaklı olduğu görülmektedir (Lewin, 1982). Bunu yanı sıra sürücülerin sürüş alışkanlıklarının (kuralları ihlal yatkınlığı, şerit takip etme disiplini, takip mesafesi bırakma eğilim vb.) ya da yola ilişkin faktörlerin kazalara sebep verebildiği bilinmektedir (Evans, 1991; Elander ve ark., 1993; Özkan ve Lajunen, 2011).

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında etkili olan sürücü kusurlarına ait bilgiler “Trafik Kazaları Özeti 2020” adlı raporda özetlenmiştir (KGM, 2020). Rapor incelendiğinde, ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında en sık görülen sürücü kusurunun “araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak” olduğu görülmektedir. Trafik kurallarına uyum oranı arttıkça trafik kazalarının meydana gelme olasılığının azaldığı daha önceki çalışmalara dayanarak bilinmektedir (Park ve ark., 2007; Kim ve ark., 2009). Raporda en sık görülen ikinci kusur kavşaklarda geçiş önceliğine uymamak olarak yer almaktadır. Bunun yanı sıra özellikle şehir içinde gerçekleşen kazaların birçoğunun trafik kontrol cihazlarına uyulmamasından kaynaklandığı da bilinmektedir (Rodegerdts ve ark., 2010). Kavşaklarda özellikle merkezi adalarda bulunan ağaç, korkuluk, bariyer, çit, duvar, sütun, ışık direği, peyzaj ürünleri gibi nesnelere ciddi kazalara neden olabilmektedir (Özinal ve Uz, 2021).

Çalışma kapsamında İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü’nün 2013-2020 yılları arasında meydana gelen kazalara ilişkin verileri kullanılmıştır. İzmir’in 30 ilçesini kapsayan 69.765 adet ölümlü-yaralanmalı trafik kaza bilgisi içermektedir. Bu kazalarda toplam 94.766 kişi yaralanmış ve 718 kişi hayatını kaybetmiştir. Trafik kaza verileri; kaza yeri, zamanı, koordinatları, yol yüzey koşulları, kazanın türü vb. birçok özelliği içermektedir. Çalışma alanına giren kaza verilerine ulaşabilmek amacıyla kaza verilerine ait enlem ve boylam bilgileri harita üzerinde işaretlenerek ilgili kesime ait veriler filtrelenmiştir.

Yapılan filtreleme sonucunda çalışma bölgesi sınırları içerisinde incelenen yollarda toplam 180 adet trafik kazası meydana geldiği belirlenmiştir. İncelenen kesimlerde meydana gelen kazaların oluş türüne göre dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir. Kazalar oluş türlerine göre 10 sınıfa ayrılmış ve bu türlere göre görülme sıklıkları verilmiştir. Tutanaklarda belirlenen kaza oluş türleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Karşılıklı çarpışma
2. Arkadan çarpma
3. Yandan çarpma
4. Yan yana çarpışma
5. Duran araca çarpma
6. Zincirleme çarpışma
7. Engel/Cisim ile çarpışma
8. Yayaya çarpma
9. Devrilme/Savrulma/Takla
10. Yoldan çıkma



Şekil 4. Buca Koop. Mahallesinde meydana gelen kazaların oluş türüne göre dağılımı

Trafik kaza verileri ve istatistikleri, kazaların vermiş oldukları zararların oluş türlerine göre sınıflandırılmasına ve nedenselliklerinin incelenerek önlemler alınmasına yardımcı olmaktadır. Analizlerin ikinci aşamasında incelenen yol ağı içerisindeki her bir yol parçasında meydana gelen kazalar oluş türü ve sayıları belirlenmiştir (Tablo 2). Tablo 2 incelendiğinde yüksek oranlarda yandı çarpma ve yayaya çarpma türü kazaların olduğu görülmektedir.

Tablo 2. İncelenen yol ağında meydana gelen kaza türleri ve görülme sıklıkları

| Konum | Kaza Türü | Sayı | % sıklık | Toplam Kaza % | Konum | Kaza Türü | Sayı | % sıklık | Toplam Kaza % |
|---------------|--------------------------|------|----------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------|----------|---------------|
| 1403. Sokak | Yandan çarpma | 3 | % 100 | % 1,67 | 206/5. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 4 | % 7 | % 32,22 |
| | Toplam | 3 | | | | Arkadan Çarpma | 2 | % 3 | |
| 1407. Sokak | Yayaya çarpma | 2 | % 100 | Yandan çarpma | | 27 | % 47 | | |
| | Toplam | 2 | | Yan yana çarpışma | | 2 | % 3 | | |
| 1408. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 1 | % 100 | Duran araca çarpma | | 3 | % 5 | | |
| | Toplam | 1 | | Yayaya çarpma | | 14 | % 24 | | |
| 1409. Sokak | Devrilme/Savrulma/Takla | 1 | % 33 | Devrilme/Savrulma/Takla | | 1 | % 2 | | |
| | Yayaya çarpma | 2 | % 67 | Yoldan çıkma | | 2 | % 3 | | |
| 1410. Sokak | Toplam | 3 | | Engel/Cisim ile çarpışma | | 3 | % 5 | | |
| | Devrilme/Savrulma/Takla | 1 | % 100 | Toplam | | 58 | | | |
| 1420. Sokak | Yayaya çarpma | 1 | % 100 | 1419. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 1 | % 20 | % 2,78 | |
| | Toplam | 1 | | | Yandan Çarpma | 3 | % 60 | | |
| 200/66. Sokak | Yayaya çarpma | 1 | % 100 | Yayaya çarpma | 1 | % 20 | % 21,11 | | |
| | Toplam | 1 | | Toplam | 5 | | | | |
| 200/17. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 2 | % 14 | Ahmet Pıştina Caddesi | Karşılıklı çarpışma | 2 | % 5 | % 21,11 | |
| | Arkadan Çarpma | 1 | % 7 | | Arkadan Çarpma | 2 | % 5 | | |
| | Yandan çarpma | 6 | % 43 | | Yandan Çarpma | 15 | % 39 | | |
| | Devrilme/Savrulma/Takla | 1 | % 7 | | Yan yana çarpışma | 2 | % 5 | | |
| | Yayaya çarpma | 4 | % 29 | | Duran araca çarpma | 1 | % 3 | | |
| | Toplam | 14 | | | Yayaya çarpma | 11 | % 29 | | |
| 205. Sokak | Yandan Çarpma | 4 | % 40 | Devrilme/Savrulma/Takla | 1 | % 3 | % 6,67 | | |
| | Yayaya çarpma | 5 | % 50 | Engel/Cisim ile çarpışma | 4 | % 11 | | | |
| | Engel/Cisim ile çarpışma | 1 | % 10 | Toplam | 38 | | | | |
| 242/27. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 2 | % 100 | 220/21. Sokak | Karşılıklı çarpışma | 1 | % 8 | % 3,33 | |
| | Toplam | 2 | | | Yandan çarpma | 10 | % 83 | | |
| 1401. Sokak | Arkadan Çarpma | 1 | % 5 | Yayaya çarpma | 1 | % 8 | % 2,22 | | |
| | Yandan Çarpma | 6 | % 32 | 1405. Sokak | Yandan çarpma | 3 | | % 50 | |
| | Duran araca çarpma | 2 | % 11 | | Zincirleme çarpışma | 1 | | % 17 | |
| | Yayaya çarpma | 7 | % 37 | | Yayaya çarpma | 1 | | % 17 | |
| | Devrilme/Savrulma/Takla | 2 | % 11 | | Yoldan çıkma | 1 | | % 17 | |
| | Engel/Cisim ile çarpışma | 1 | % 5 | | Toplam | 6 | | | |
| Toplam | 19 | | Arkadan Çarpma | | 1 | % 25 | | | |
| | | | | Yandan Çarpma | 1 | % 25 | | | |
| | | | | Yayaya çarpma | 1 | % 25 | | | |
| | | | | Engel/Cisim ile çarpışma | 1 | % 25 | | | |
| | | | | Toplam | 4 | | | | |
| | | | | TOPLAM KAZA | 180 | | | | |

Yandan çarpma kazaları tipik olarak kavşaklarda meydana gelmekte olup, bu çarpışmaların sıklığı ve şiddeti kavşak tipine bağlı olmaktadır (Adanu ve ark., 2021). Kavşak noktalarında geometri ve ışıklandırmadan kaynaklanan problemler, sürücülerin görüşünü etkilediğinden yandan çarpma türü kazaların oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca kırmızı ışıkta geçmek, aşırı hız ve sürücü hataları da yandan çarpma kaza türüne etki eden diğer faktörlerdir.

Sürücü/yaya davranışları, çevresel ve yol geometrisine ait faktörler dâhil olmak üzere çeşitli faktörlerin yayaya çarpma kazalarında etkili olduğu bilinmektedir (Sun ve ark., 2019). Araçların hız limitlerine uymaması ve alkollü araç kullanımı yayaya çarpma şeklinde meydana gelen trafik kazalarının oluşumunu etkileyen önemli faktörler arasında olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir

(Moradi ve ark., 2019). Ayrıca, yaya geçitlerine yakın yerlerin peyzajı ve bu yerlere konumlandırılacak olan her türlü levha, tabela ve reklam panosu gibi sokak mobilyalarının yaya görünürlüğünü azaltacak şekilde düzenlenmemesi gerekmektedir. Ek olarak kavşaklarda bulunan ayırıcı adaların yayaların sığınması için yeterli büyüklükte ve sürücülerin yaya hareketlerini öngörmelerini sağlayacak şekilde tasarlanması trafik güvenliği açısından önemlidir.

Devrilme, savrulma veya takla atma şeklinde meydana gelen trafik kazalarında, sürücü ve yolcuların ciddi ve ölümcül yaralanmalara maruz kalma olasılığı artmaktadır. Savrulma şeklinde meydana gelen kaza türlerinde, olumsuz hava koşullarının etkili olduğu bilinmektedir (El-Basyouny ve ark., 2014). Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi, devrilme türü kazaların yaklaşık %40'ının aşırı hız nedeniyle meydana geldiğini ve bu kazaların çoğunun hız sınırlamasının 90 km/sa olan bölgelerde olduğunu belirtmiştir (NHTSA, 2022). Devrilme, savrulma veya takla atma şeklindeki kazaların oluşumunda en etkili olan faktörlerin, aşırı hız, yol yüzeyi kaplama koşulları, hava şartları, sürücü davranışı ve araç tasarımı olduğu bilinmektedir.

Karşılıklı çarpışma şeklinde meydana gelen trafik kazalarının şehirlerarası yol kesimlerinde, şehir içi yol kesimlerine oranla daha sık meydana geldiği bilinmektedir. Bu tür kazaların oluşumunda sürücü kusurları (alkol-madde kullanımı, yorgunluk ve hatalı sollama), keskin dönüşlerin ve şerit genişliklerinin etkisi oldukça yüksektir (Deng ve ark., 2006). Engel/cisim ile çarpışma kaza türünde çarpma hızı diğer tüm faktörlere kıyasla kazanın ölümlü sonuçlanmasında en yüksek etkiye sahiptir. Erişim kontrolü ve arazi tipi, bu tip kazaları etkileyen risk faktörlerinden yol özellikleri ile ilgili iken, büyük bir çoğunluğu sürücü özellikleriyle ilgili olmaktadır. Belirtilen hız sınırlarını aşan, trafik kurallarına uymayan ve alkol etkisi altında araç kullanan sürücülerin şehir içi ve şehirlerarası yollarda sabit nesnelere çarpışma sonucu ölme olasılığı daha yüksektir (Penmetts ve Pulugurtha, 2019).

5. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında yapılan incelemelerde, arazi kullanım yoğunluğu ve araç sahipliği değerleri de göz önünde bulundurularak trafik güvenliğine ilişkin sorunlar ve nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bölgede çoğunlukla yüksek katlı yapılar bulunmaktadır. Bireysel araç sahipliğinin bölgede oldukça fazla olduğu da gözlemlenmiştir. Buca Koop. Mahallesi yol ağlarında meydana gelen trafik kazaları ve gözlemler sonucu oluşturulan nedensellik tabloları incelenerek ulaşılan bulgular aşağıda maddeler şeklinde sıralanmıştır;

- İncelenen bölgede oluşan kazalar en yüksek %43,3 oranla yandan çarpma şeklindedir. En sık görülen ikinci tür ise %28,3 ile yayaya çarpma şeklinde meydana gelmiştir.
- Kazaların en çok görüldüğü kesim 206/5. Sokak'dır. Bu kesimde 7 yılda 58 adet kaza meydana gelmiştir. Oluş türü bakımından en çok meydana gelen kaza yandan çarpma şeklindedir.
- En çok kazanın meydana geldiği diğer kesim Ahmet Piriştina Caddesi olup, belirtilen tarihlerde 38 adet kaza meydana gelmiştir. Burada da oluş türü bakımından en çok yandan çarpma kazaları meydana gelmiştir.

- İncelenen diğer yol kesimlerinin birçoğunda meydana gelen kazaların ortak yönü yandan çarpma ve yayaya çarpma şeklinde olmalarıdır.
- 206/5. Sokak, Ahmet Piriştina Caddesi, 1401. Sokak, 200/17. Sokak ve 220/21. Sokak olmak üzere 5 yol kesiminde tüm ağda meydana gelen kazaların yaklaşık %80'ine yakını meydana gelmiştir.
- Bilgi derleme tabloları, yapılan gözlemler ve kaza verileri analizi sonucunda, yol ağına ilişkin en önemli sorunların hatalı park/park yeri problemi, yüksek yaya yoğunluğu ve sürücü hataları olduğu tespit edilmiştir.
- 205. Sokak, 1405. Sokak ve 1407. Sokak toplu taşıma güzergahı üzerinde bulunmaktadır. İki yönlü trafiğe hizmet veren bu kesimlerde yoğun araç parklarından dolayı toplu taşıma araçlarının hareketi engellenmekte ve bu kesimlerde trafik sıkışıklığı ve gecikmelere neden olmaktadır.
- İncelenen yol ağının neredeyse tüm kesimlerinde yer alan yolların birer şeridinin, bu yönde bir geometrik düzenleme olmamasına rağmen, yol üstü parklanmaya ayrıldığı belirlenmiştir. Bu civarında yer alan binaların otopark ihtiyaçlarını bina içinde veya parselinde karşılayamamasından kaynaklı olduğu görülmüştür.
- İşyerlerinin önüne gelen ağır taşıtlar, araç ve yaya trafiğini olumsuz etkilemektedir. Uygun park yeri olmaması sebebi ile bir şeridi uzun süre işgal eden ağır araçlar, otomobillerden çok daha fazla sorun yaratmaktadırlar.
- Toplu taşıma duraklarında taşıtların yanaşabileceği cepler bulunmamaktadır. Yanaşma cebi bulunan kesimlerde de cebin yakınına veya üzerine park eden otomobillerden dolayı körüklü otobüsler cebin üzerinde duramamaktadır.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan gözlem çalışmaları ve kaza analizleri kapsamında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Çalışma bölgesinde oluşan trafik kazalarının %43,3 ünün “Yandan Çarpma” türünde olduğu belirlenmiş ve bu durum göz önüne alındığında görüş mesafesini artırıcı trafik sakinleştirme yöntemlerinin uygulanmasının uygun olabileceği düşünülmüştür. Güvenli dönüşler hareketi için görüş açılarının iyileştirilmesi, “Yuvarlatılmış bordürler”, kavşakların yaklaşım kollarında araç hızlarının düşürülmesi “Mini dönel kavşak”, “Hız Tabloları” veya “Şerit daraltma” gibi trafik sakinleştirme yöntemlerinin uygulanması düşünülebilir
- Bölgede meydana gelen “Yayaya çarpma” türü, toplam kazaların %28,3’ünü oluşturmaktadır. Okullar, kreşler, yeşil alanlar gibi sosyal alanlar düşünüldüğünde bu bölgelere yakın yol kesimlerinde ve özellikle yaya geçitleri yakınlarında hızın düşürülmesi amacıyla şerit daraltması konusunda düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Yaya geçitlerinin daha belirgin görünmesi için “Yol yüzeyi malzemelerinin görünürlüğünün artırılması” tekniğinin uygulanması, özellikle “Hız tablalarının” etkin olarak kullanılması önerilebilir.

- İncelenen yol kesimlerinin büyük çoğunluğunda kesit süreksizlikleri tespit edilmiştir. Bu durum gecikmeleri arttırarak araç hızlarının sabit kalmasını engellemektedir. Bu sorunun tespit edildiği kesimlerde sürekliliği sağlamak adına gerekirse araçlara ayrılan kesit için daraltma yapılabilir.
- Çalışma bölgesinde tespit edilmiş en önemli sorunlardan bir tanesi de otopark alanlarının yetersizliği ve düzensizliğidir. Gerek toplu taşıma araçlarının rahatlatılması gerek bölgedeki işyerlerine lojistik destek sağlayan araçların trafik akışını engellememesi için gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Çalışma esnasında yapılan incelemeler ve bulgular değerlendirildiğinde elde edilen en temel sonuçlardan bir tanesinin imar ve ulaşım planlarının eş zamanlı yürütülememesinin hayati ve ekonomik kayıplara sebep verdiğidir. Bu durum taşıdığı trafik yükü ile sahip olması gereken sınıfa ilişkin geometrik özellikleri sağlamayan yollar oluşmasına sebep olmaktadır. İmar planlarının ayrılmaz parçası olması gereken toplu taşıma planlarının da bu noktada dikkatle ele alınması ve uygulanabilmesi önem taşımaktadır.

Sürücü ve yaya davranışlarına ilişkin faktörler göz önüne alındığında trafik kurallarını bilme ve uyma alışkanlığının artırılması önem taşımaktadır. Bunu yanı sıra kuralların denetlenmesi ve gerektiğinde caydırıcı yaptırımların uygulanması da sorunların çözümünde etkili olacaktır.

Bu çalışma kısa süreli ve dar alanlı olduğundan, yapılan gözlem ve tespitler kalitatif ölçülerde kalmıştır. Trafik problemlerinin olası kaynağı olarak incelenen nedenselliklerin çeşitlendirilerek sınıflandırılması, göreceli olarak sıralanması veya puanlandırılması, problemlere yaklaşımın standardize edilmesi bakımından faydalı olacaktır. Doğrudan gözleme dayanan saha araştırmaları ve kamera kayıtlarına ek olarak simülasyon programlarıyla çalışma kapsamının genişletilmesi gelecekte yapılması planlanan işler arasındadır.

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

Adanu EK., Li X., Liu J., Jones S. An analysis of the effects of crash factors and precrash actions on side impact crashes at unsignalized intersections. Journal of Advanced Transportation 2021; 2021: 1-17.

- Akalın K., Kara Ç., Özden A. Erişilebilir trafik sakinleştirme ve akım iyileştirme uygulamalarının trafiğe olan etkilerinin incelenmesi. *Journal of Transportation And Logistics* 2019; 4(2): 107-118.
- Akbari A., Haghghi F. Traffic calming measures: An evaluation of four low-cost TCMs' effect on driving speed and lateral distance. *IATSS Research* 2020; 44(1): 67-74.
- Ariën C., Brijs K., Brijs T., Ceulemans W., Vanroelen G., Jongen EM., Daniels S., Wets G. Does the effect of traffic calming measures endure over time—A simulator study on the influence of gates. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour* 2014; 22: 63-75.
- Aydın MM., Akgöl K., Günay B. Trafik sakinleştirme çalışmalarında farklı kıvrımlama uygulamalarının sürüş simülatörü ortamında incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2019; 34(4): 1793-1806.
- Deng Z., Ivan J., Gårder N., Analysis of factors affecting the severity of head-on crashes: two-lane rural highways in connecticut. *Transportation Research Record* 2006; 1953(1): 137-146.
- Distefano N., Leonardi S. Evaluation of the benefits of traffic calming on vehicle speed reduction. *Civil Engineering And Architecture* 2019; 7(4): 200-214.
- El-Basyouny K., Barua S., Islam MT., Li R. Assessing the effect of weather states on crash severity and type by use of full Bayesian multivariate safety models. *Transportation Research Record* 2014; 2432(1): 65-73.
- Elander J., West R., French D. Behavioral correlates of individual differences in road-traffic crash risk: an examination of methods and findings. *Psychological Bulletin* 1993; 113(2): 279.
- Erjem Y. Trafik sisteminin işleyişi ve trafik kazaları üzerine sosyolojik bir araştırma. *Polis ve Sosyal Bilimler Dergisi* 2005; 3(1): 69-94.
- Evans L. *Traffic safety and the driver*. USA: Science Serving Society; 1991.
- Galante F., Mauriello F., Montella A., Perneti M., Aria M., D'Ambrosio A. Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment. *Accident Analysis and Prevention* 2010; 42(6): 1585-1594.
- Hu W., Cicchino JB. The effects of left-turn traffic-calming treatments on conflicts and speeds in Washington, DC. *Journal of Safety Research* 2020; 75: 233-240.
- Huang HF., Cynecki MJ. Effects of traffic calming measures on pedestrian and motorist behavior. *Transportation Research Record* 2000; 1705(1): 26-31.
- Initiative GDC., Officials, N. A. o. C. T. *Global street design guide*. 2016.
- Jateikienė L., Andriejauskas T., Lingytė I., Jasiūnienė V. Impact assessment of speed calming measures on road safety. *Transportation Research Procedia* 2016; 14: 4228-4236.
- KGM. Trafik Kazaları Özeti 2018. <https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/trafikkazalariozeti.aspx> Erişim tarihi: 20.07.2021

- KGM. Trafik Kazaları Özeti 2020.
<https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/trafik/trafikkazalariozeti.aspx> Erişim tarihi: 20.07.2021
- Kim TH., Kim EK., Rho JH. Analysis of old driver's accident influencing factors considering human factors. *Journal of the Korean Society of Safety* 2009; 24(1): 69-77.
- Lajunen T., Parker D., Summala H. The Manchester driver behaviour questionnaire: a cross-cultural study. *Accident Analysis and Prevention* 2004; 36(2): 231-238.
- Lee G., Joo S., Oh C., Choi K. An evaluation framework for traffic calming measures in residential areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2013; 25: 68-76.
- Lewin I. Driver training: A perceptual-motor skill approach. *Ergonomics* 1982; 25(10): 917-924.
- Lockwood IM. ITE traffic calming definition. Institute of Transportation Engineers. *ITE Journal* 1997; 67(7): 22.
- Moradi A., Ameri P., Rahmni K., Najafi M., Jamshidi E., Fakhri Y., Amjadian M. Factors affecting the severity of pedestrian traffic crashes. *Archives of Trauma Research* 2019; 8(2): 46-56.
- NHTSA. SAFERCAR.gov. 2022. <https://www.nhtsa.gov/ratings> Erişim tarihi: 23.03.2022
- Özinal Y., Uz VE. Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi* 2021; 24(1): 283-297.
- Özkan T., Lajunen T. Person and environment: Traffic culture *Handbook of traffic psychology*. Elsevier; 2011; 179-192.
- Park S., Lee S., Eom J. The effects of aberrant and positive driving behaviors on crashes: path models analysis. *Korean Journal of Industrial and Organizational Psychology* 2007; 20: 21-41.
- Penmetsa P., Pulugurtha SS. Risk factors attributed to fatal fixed-object crashes on noninterstate roads. *Journal of Transportation Safety and Security* 2019; 11(1): 102-116.
- Rodegerdts L., Bansen J., Tiesler C., Knudsen J., Myers E., Johnson M., Hallmark S. Roundabouts: An Informational Guide. NCHRP Report 672. Transportation Research Board. Washington, DC. 2010.
- Sun M., Sun X., Shan D. Pedestrian crash analysis with latent class clustering method. *Accident Analysis And Prevention* 2019; 124: 50-57.
- Üzümcüoğlu Y., Özkan T., Wu C., Zhang H. How drivers perceive traffic? How they behave in traffic of Turkey and China?. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour* 2019; 64: 463-471.
- Warner H. W., Özkan T., Lajunen T., Tzamalouka G. Cross-cultural comparison of drivers' tendency to commit different aberrant driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology And Behaviour* 2011; 14(5): 390-399.

Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası

Azize DEMİRPOLAT^{1*}, Ömer KILIÇ², Şinasi YILDIRIMLI³, Eyüp BAĞCI⁴

¹Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım, Hayv. MYO. Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl-Türkiye

²Adıyaman Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Meslek Bilimleri Bölümü, Adıyaman-Türkiye

³Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara-Türkiye

⁴Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Elazığ-Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-7192-185X>

²<https://orcid.org/0000-0003-3409-1572>

³<https://orcid.org/0000-0001-9648-7471>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-1824-9424>

*Sorumlu yazar: ademirpolat@bingol.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 19.04.2022

Kabul tarihi: 16.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Flora
Genç ilçesi
Bingöl
Endemik
Türkiye

ÖZ

Bu çalışma, Genç İlçesi (Bingöl), ve yakın çevresinin florasını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanından 684 bitki örneği toplanmıştır. 62 familyaya ait 265 cins olmak üzere toplamda 403 takson belirlenmiştir. Toplanan örneklerin 3'ü Pteridophyta, 400'ü Spermatophyta bölümlerine aittir. Spermatophyta'ya bağlı Coniferophyta alt bölümü 2 ve Magnoliophyta alt bölümü 398 takson içermektedir. Magnoliophyta alt bölümüne ait 398 taksonun, 335'i Magnoliopsida, 63'ü ise Liliopsida sınıfına ait olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanından 34 taksonun endemik olduğu tespit edilmiş ve endemizm oranı % 8,4 olarak bulunmuştur. Toplanan örneklerin bitki coğrafyası bölgelerine göre dağılımı ise şöyledir: İran -Turan 141 (%34,9), Avrupa-Sibirya 24 (%5,9), Akdeniz 16 (%3,9), çok bölgeli veya fitocoğrafik bölgesi bilinmeyenler 222 (%55,1). Takson sayısı en fazla olan ilk 6 familya sırasıyla Asteraceae 51 (%12,6), Lamiaceae 42 (%10,4), Fabaceae 38 (%9,4), Poaceae 29 (%7,2), Brassicaceae 28 (%6,9), Apiaceae 27 (%6,7) şeklindedir. İçerdikleri takson sayılarına göre en büyük 6 cins sırasıyla: *Astragalus* 9, *Centaurea* 8, *Silene* 7, *Vicia* 7, *Salvia* 6, *Trifolium* 6.

Flora of Genç District (Bingöl) and Near Surroundings

Research Article

Article History:

Received: 19.04.2022

Accepted: 16.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Flora
Genç district
Bingöl
Endemic
Turkey

ABSTRACT

This study was carried out to determine the flora of Genç District (Bingöl) and its near surroundings. 684 plant taxa were collected from the research area. A total of 403 taxa were identified, 265 genera belonging to 62 families. 3 of these taxa belong to Pteridophyta and 400 belong to Spermatophyta divisions. Coniferophyta and Magnoliophyta subdivisions in the Spermatophyta division contain 2 and 398 taxa, respectively. It was determined that 398 taxa belonging to subdivision Magnoliophyta, 335 belong to Magnoliopsida and 63 belong to Liliopsida class. It was determined that 34 taxa were endemic and the endemism rate was 8.4%. The distribution of taxa according to phytogeographic regions was determined as following: Anatolian-Turan 141 (34.9%), Euro-Siberian 24 (5.9%), Mediterranean 16 (3.9%), multi-regional or unknowns 222 (55.1%). According to the number of taxa they contain, the first 6 families in the area are respectively Asteraceae 51 (12.6%), Lamiaceae 42 (10.4%), Fabaceae 38 (9.4%), Poaceae 29 (7.2%), Brassicaceae 28 (6.9%), Apiaceae 27 (6.7%). According to the number of taxa they contain, the 6 largest genera are respectively: *Astragalus* 9, *Centaurea* 8, *Silene* 7, *Vicia* 7, *Salvia* 6, *Trifolium* 6.

To Cite: Demirpolat A., Kılıç Ö., Yıldırım Ş., Bağcı E. Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 289-309.

1. Giriş

Ülkemizin bitki çeşitliliği bakımından zenginliği, 2000 yılından sonra yapılan çalışmalarda yayımlanan taksonlarla birlikte giderek artmıştır. Türkiye Florası güncel rakamlarla 11.000'den fazla takson içermektedir (Güner ve ark., 2012). Araştırma sahamız Bingöl iline bağlı Genç İlçesi ve çevresi olup, bölge genelde engebeli özelliindedir. Araştırma sahasının bulunduğu Bingöl ili ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nde olup, alan ile çevresinin jeomorfolojik özelliği genellikle “yükselteleri batıdan doğuya doğru artan, birbirine paralel dağlar ile bunlar arasında bulunan ovalar” şeklindedir (Tonbul, 1990). Araştırma alanı ile yakın çevresindeki toprakların büyük bölümü zonal özellikte olup, azonal ve intrazonal topraklar daha sınırlı alanları kaplamaktadır (Erinç, 1965). Alanının vejetasyon özellikleri step, çalılık, ormanlık, kayalık, sucul ve çayır formasyonları gibi farklı habitatlara göre şekillenmiştir. Genç ilçesi Murat Nehri vadisinde olup batısı Elazığ iline bağlı Arıcak- Palu ilçeleri, doğusu Solhan, güneyinde ise Kulp-Lice-Hani ilçeleri ile çevrelenmiştir. İlçenin deniz seviyesinden yüksekliği ise 1125 m' dir (BÇDR, 2017). Ayrıca şehir, kuzey-doğu güneybatı yönünde uzanan bariz deprem fay hatları üzerindedir (Alataş ve ark., 2020).

Çalışma alanı floristik yönden değerlendirilmemiş olması sebebiyle çalışılmaya uygun görülmüştür. Çalışma sahamıza en yakın floristik çalışma Sinan ve Behçet (2014) tarafından Genç ilçesine bağlı Altıkardaş Dağı ve çevresinde yapılmıştır. Bu çalışmada 535 örnek belirlenmiş ve en fazla takson içeren familyalar Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, en fazla takson içeren cinsler ise *Veronica*, *Astragalus* ve *Trifolium* olarak gösterilmiştir (Sinan ve Behçet, 2014). Araştırma sahamıza yakın çevrelerde yapılmış olan bazı floristik çalışmaları ve özlü sonuçlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

1990'lı yıllarda yapılmış olan Bingöl dağı ve çevresindeki ilçelerin florası çalışmasında 820 takson tespit edilmiş, olup, Asteraceae, Brassicaceae ve Caryophyllaceae en fazla taksona sahip ilk üç familya; *Astragalus*, *Silene* ve *Centaurea* ise en çok bitki taksonu içeren ilk üç cins olarak belirlenmiştir (Engin, 1990). Kılıç ve Yıldırım (2014), Bingöl merkeze bağlı Dikme köyü ve çevresinin florasını çalışmış ve 707 takson belirlemişlerdir. Takson sayısı en fazla ilk üç familya sırasıyla Asteraceae, Lamiaceae ve Fabaceae familyalarıdır. Takson sayısı en fazla ilk üç cins ise sırasıyla *Astragalus*, *Silene* ve *Centaurea* olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada *Allium bingolense* Kılıç ve Yıld. yeni tür olarak belirlenmiştir (Kılıç ve Yıldırım, 2014).

Bingöl-Karlıova Göynük nahiyesinde yapılan bir çalışmada ise 689 takson tespit edilmiş, takson sayıları en fazla ilk 5 familya; Asteraceae (82 takson), Fabaceae (66 takson), Poaceae (53 takson), Brassicaceae (53 takson), Lamiaceae (43 takson) olarak belirlenmiştir. Takson sayısı en fazla olan beş cins ise; *Astragalus* (19), *Silene* (16), *Trifolium* (12), *Veronica* (10), *Vicia* (9) takson olarak belirlenmiştir (Cengiz, 2016). “Hiro Yaylası ve Çevresinin (Adaklı-Bingöl) Florası” başlıklı araştırmada 851 takson belirlenmiştir. Takson sayısı en zengin ilk 5 familya; Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Brassicaceae, Lamiaceae' dir. Yine bu çalışmada takson sayısı en fazla ilk 5 cins ise; *Astragalus*, *Trifolium*, *Centaurea*, *Salvia* ve *Veronica* cinsleri olarak belirtilmektedir (Yapar ve

Behçet, 2018). “Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) ve Yakın Çevresinin Florası” başlıklı çalışmada 446 takson bulunmuştur. Bu çalışmada bitki coğrafyası bölgelerine göre taksonların dağılımı ise Anadolu-Turan (%35,8), Akdeniz (%3,6), Avrupa-Sibirya (%5,4) şeklinde verilmiştir (Kılıç ve ark., 2017). Kuruca Köyü (Bingöl) ile Bingöl arasındaki sahanın floristik çalışmasında ise toplanan bitki örneklerinin teşhisleri neticesinde 429 takson saptanmıştır. Bu taksonların familyalardaki oranı ve sayısı Asteraceae (53 - %12,35), Fabaceae (44 - %10,25), Brassicaceae (41 - %9,56), Lamiaceae (30 - %7,00), Poaceae (25 - %5,83) olarak belirlenmiştir (Demirel ve ark., 2021). Behçet ve Yapar (2021) tarafından Araştırma sahamıza yakın bir bölgede yapılan başka bir çalışmada, 59 cinse ait toplam 151 takson tespit edilmiştir. Bingöl’den bilinen dar yayılışlı endemiklerin teşhisi yapılan bu çalışmada, 10 endemik takson bulunurken, B8 karesi için 28 yeni takson kaydedilmiştir. Çalışılan Poaceae familyası üyelerinin 9’u (%5,96) Akdeniz fitocoğrafik bölge elementi, 29’u (%19,21) İran-Turan ve 20 taksonu (%13,24) Avrupa-Sibirya elementi olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma ile Genç İlçesi ile Bingöl arasındaki sahanın florasını belirlemek, endemik ve nadir endemik takson potansiyelini ortaya çıkarmak, bölge florası ile yakın bölgelerdeki floristik kompozisyonu karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu çalışma ile yeniden yazılmakta Türkiye Florası’ na katkı sağlamak ve bölgenin endüstriyel sektörlerine (Arıcılık, Tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliği vb.) katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metod

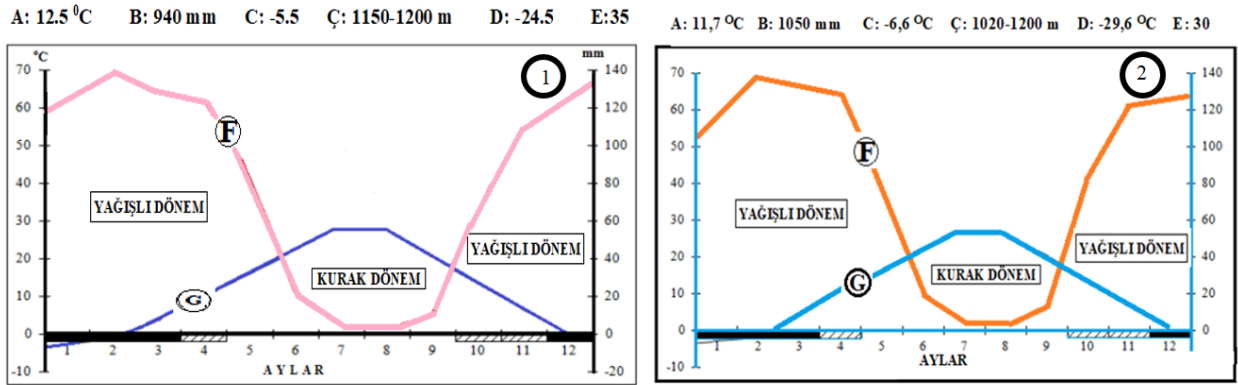
Bu çalışmada, Bingöl iline bağlı Genç İlçesi ve yakın çevresi seçilmiş ve bölgenin floristik kompozisyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sahasından 2019-2021 yıllarının vejetasyon periyotlarında arazi çalışmaları yapılarak, 684 bitki taksonu toplanmış ve bu bitkilerin teşhisleri neticesinde 62 familyaya ait 265 cins ve toplamda 403 takson saptanmıştır. Çalışma sahası İran - Turan fitocoğrafik bölgesinde, Anadolu Diyagonalı’nin doğusunda ve B8 karesinde bulunmaktadır. Araştırma sahasının sınırları ve lokasyonu Şekil 1’de görülmektedir. Alanın yüksekliği 1200 m ile 1800 m arasındadır. Araştırma sahası ve yakın çevresinde farklı toprak özellikleri görülüp, bu farklılıkların ortaya çıkmasında araştırma alanının topoğrafik, coğrafik, rölyef, vejetasyon ve ekolojik özelliklerinin etkili olduğu söylenebilir.

Toplanan bitki örneklerinin gereken kayıtları yazılıp numaralandırılıp, herbaryum tekniğine uygun bir şekilde preslenmiştir. Örneklerin teşhisinde Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, 1965-1988) adlı eserler kaynak olarak kullanılmıştır. Herbaryum örnekleri “Yıldırım Otluk”u, Adıyaman Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Herbaryumu ve Bingöl Üniversitesi Gıda - Tarım ve Hayvancılık MYO’da koruma altına alınmıştır. Endemik ve tehdit altındaki türler belirlenip IUCN - Red Data Book kategorilerine göre tehdit durumları ölçeklendirilmiştir (IUCN, 2016). Bitki listesindeki taksonların sıralanışında “Flora of Turkey and the East Aegean Islands” eserlerindeki sisteme bağlı kalınmıştır (Davis, 1965-1988).



Şekil 1. Araştırma alanının lokasyon haritası

Bingöl merkez meteoroloji istasyonunun son 35 yıllık verilerine göre yıllık yağış miktarı $P= 940$ mm, yağış-sıcaklık emsali $Q= 81,1$ olarak hesaplanmıştır. En sıcak ayın, en yüksek sıcaklık ortalaması $M= 34,7$ °C, en soğuk ay için en düşük sıcaklık ortalaması $m= -5,5$ ° C dir. Emberger'in yağış sıcaklık kuramı kaynak olarak alındığında Bingöl ili "az yağışlı soğuk ve çok soğuk Akdeniz" biyoiklim kategorisinde bulunmaktadır (Emberger, 1955). Alanın yağış rejimi tipi Doğu Akdeniz yağış rejimidir. Bingöl ili ve Genç ilçesinin iklim diyagramları Gausson metoduna göre (Gausson, 1955) çizilerek Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1: Bingöl ili iklim diyagramı, 2: Genç İlçesi iklim diyagramı

A: Ortalama yıllık sıcaklık, B: Yıllık ortalama yağış, C: En soğuk ayın minimum sıcaklık ortalaması, Ç: Alanın ortalama rakımı, D: Mutlak minimum sıcaklık, E: Sıcaklık ve yağış değerlerinin kaç yıllık gözlemlerin ortalaması olduğu, F: Aylık ortalama yağış eğrisi, G: Aylık ortalama sıcaklık eğrisi, 1. 2. 3. ve 12. aylar: mutlak donlu aylar, 4. 10. ve 11. aylar: muhtemel donlu aylar.

Çalışma alanından bitki toplanan istasyonlar kodlanarak aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

Bitki toplanan istasyonlar ve kodları

1. Bingöl-Genç arası 3.km Güveçli köy yolu, yolun sağ ve solu 900-1000 m.
2. Bingöl-Kemalan köyü, güney kesimleri, nemli alanlar, 1000-1100 m.
3. Bingöl-Genç Çayağzı köyü, çevresi, step yamaçlar, 1000-1100 m.
4. Bingöl-Genç arası, 4. km Şehitlik çevresi, taşlık yamaç nemli yerler, 950-1050 m.
5. Bingöl-Yamaç köyü, çevresi, step, taşlık alanlar, 1200-1300 m.
6. Bingöl-Genç arası organize sanayi alanı çevresi step ve nemli yamaçlar, 1100-1200 m.
7. Bingöl-Genç arası, 5. km Güveçli köy ova yolu, çayırılık alan, 950-1050 m.

8. Bingöl-Özlüce köyü, çevresi, ormanlık ve orman açıklık alanları, 1400-1500 m.
9. Bingöl-Genç arası, 6. km İçmeler Toki etrafı, yolun sağ ve solu bayır taşlık, 950-1050 m.
10. Genç Doğanca köyü, Kaldere mezrası, taşlık, meşelik yamaçlar, 1200-1300 m.
11. Bingöl-Garip köyü, batı kesimleri, bozkır, yamaçlar, 1000-1100 m.
12. Bingöl-Genç arası, 6. km İçmeler Toki 1 km sonrası, tarla 950-1050 m.
13. Genç Balpınarı Köyü çevresi, *Quercus* açık alanları, 1200-1300 m.
14. Bingöl-Kumgeçit köyü, kuzey kesimleri, tarla ve step alanlar, 1000-1100 m.
15. Bingöl Genç yolu üzeri 7.km, Doğa Koleji çevresi, çayırılık taşlık alan 900-1050 m
16. Bingöl-Sürekli köyü, kuzey kesimleri, ormanlık, taşlık ve step alanlar, 1000-1100 m.
17. Bingöl Genç yolu üzeri 10.km yolun sol tarafı tarlalık alan, 900-1050 m.
18. Genç Altınışık köyü çevresi, meşelik ormanlık alanlar, 1600-1700 m.
19. Genç Murat nehri kenarları, nemli taşlık alanlar, 950-1050 m.
20. Bingöl Genç yolu üzeri 10.km yolun sağ tarafı tarlalık alan 900-1050 m.
21. Genç Karadere mezrası, çevresi, *Quercus* açık alanları, 1200-1300 m.
22. Bingöl-Haziran köyü, kuzey kesimleri, ormanlık, taşlık ve step alanlar, 1600-1700 m.
23. Genç Çiçekyayla köyü çevresi, meşelik alan, 1300-1400 m.
24. Bingöl Genç yolu üzeri 10. km yolun sağ tarafı Çayağzı köy yolu üst kesimleri alan 900-1050 m.
25. Genç batı kesimleri metan yaylası gence bakan yamaçlar, 1400-1500 m.
26. Bingöl Genç yolu üzeri yolun sağ tarafı Çayağzı köy yolu tarlalık taşlık alanlar, 900-1050 m.
27. Bingöl-Genç Doğa koleji çevresi, güney kesimleri, step alanlar. 1000-1000 m.
28. Yolun sağ tarafı Çayağzı köy çevresi, tepelik alan, 900-1050 m.
29. Genç karşısı Metan dağı etekleri Ardıçtepe köyü güney yamaçları, 1200-1250 m.
30. Bingöl-Haziran köyü, çevresi, ormanlık, taşlık ve step alanlar, 1700-1800 m.
31. Genç yolu 5-7. km yolun solu step, şeyh Ahmet deresi çevresi, bahçe, nemli alan, 1100-1200 m.
32. Bingöl Genç yolu üzeri 11. km yolun sol tarafı, Lukoil çevresi mera açık alanlar, 900-1050 m
33. Genç Çiçekyayla köyü çevresi, kayalık alan, 1100-1200 m.
34. Bingöl Genç Yolu, Beton fabrikası civarı, açık alan step, 900-1050 m.
35. Genç batısı Yukarı paympra, Haziran köyü çevresi, nemli alan, 1750-1850 m.
36. Genç köprüsü altı, Yoldaşan mevkii su kenarı, sulak alanlar, 950-985 m.
37. Bingöl Genç arası, Bingöl Üniv. Ziraat Fak. uygulama alanı çevresi step yamaçlar, 1100-1200 m.
38. Genç Çaytepe yolu, yolun sağ ve sol tarafı, 1030-1040 m.
39. Bingöl Havalimanı çevresi nemli ve step alanlar, 1000-1100 m.
40. Genç Sürekli yolu, açık alan step, 1150-1250 m.
41. Genç Sürekli çevresi tarlaları, 1150-1250 m.
42. Genç ilçesi, Çevirme köyü, Şehittepe mevkisi, küçük kepez başı, 1650-1700 m.
43. Genç, Doğancık köyü, Kadere mezrası, bayır, meşe ormanı, kayalık, taşlık, 1270-1380 m.
44. Genç ilçesi karşısı, Ardıçtepe köyü ilerisi, Metan dağı etekleri, kesik meşelik, 1240-1300 m.
45. Genç ilçesi, Doğanca köyü, Karadere boyunca, karkal (karın kalktığı yer), yamaç, 1375-1450 m.
46. Genç ilçesi, Çevirme köyü, Şehittepe mevkisi, küçük kepez başı, 1650-1700 m.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırma alanından toplam 403 takson belirlenmiştir. Belirlenen taksonlardan 3'ü Pteridophyta, 400'ü Spermatophyta bölümlerine aittir. Spermatophyta'ya bağlı Coniferophyta alt bölümü 2 ve Magnoliophyta alt bölümü 398 takson içermektedir. Magnoliophyta alt bölümüne ait 398 taksonun, 335'i Magnoliopsida, 63'ü ise Liliopsida sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Alandan toplanan taksonların 34' ünün endemik olduğu tespit edilmiştir.

BİTKİ LİSTESİ

PTERIDOPHYTA

ADIANTACEAE

Adiantum capillus-veneris L., 2, 19.05.2018, ÖK 5500. Kriptofit.

EQUISETACEAE

Equisetum ramosissimum Desf., 2, 19.05.2018, ÖK 5501. Kriptofit.

ATHYRIACEAE

Cystopteris fragilis (L.) Bernh., 3, 19.05.2018, ÖK 5503. Hemikriptofit.

SPERMATOPHYTA

GYMNOSPERMAE

CUPRESSACEAE

Juniperus excelsa M.Bieb, 17, 17.06.2018, ÖK 5562. Fanerofit.

EPHEDRACEAE

Ephedra major Host, 7, 19.05.2018, ÖK 5505. Kamefit.

ANGIOSPERMAE

MAGNOLIOPSIDA

ALISMATACEAE

Alisma plantago-aquatica L. 36, 17.06.2018, ÖK 5565. Hemikriptofit.

RANUNCULACEAE

Adonis aestivalis L. subsp. *aestivalis*, 4, 19.05.2018, ÖK 5504. Terofit.

Ceratocephalus falcatus (L.) Pers., 19, 17.06.2018, ÖK 5564. Terofit.

Clematis orientalis L., 28, 06.07.2019, ÖK 5735. Kamefit.

Consolida orientalis (Gay.) Schröd., 16, 06.06.2020, ÖK 5768. Terofit.

Delphinium cyphoplectrum Boiss. var. *stenophyllum*, 15, 06.06.2020, ÖK 5767. Hemikriptofit.

Delphinium peregrinum L., 18, 17.06.2018, ÖK 5563. Hemikriptofit.

Nigella oxypetalata Boiss., 1, 30.06.2018, ÖK 5633. Iran Turan Terofit.

Ranunculus arvensis L., 40, 16.04.2019, ÖK 5674. Terofit

Ranunculus damascenus Boiss. et Gaill., 5, 19.05.2018, ÖK 5506. Iran Turan. Terofit

PAPAVERACEAE

Corydalis rutifolia (Sibth. & Sm.) DC. subsp. *erdelii* (Zucc.) Cullen & P.H. Davis, 43, 19.05.2018, ŞY 5508. Kriptofit

Fumaria asepalata Boiss., 3, 30.06.2018, ÖK 5635. Iran Turan Terofit

Fumaria officinalis L., 22, 17.06.2018, ÖK 5567. Terofit

Glaucium corniculatum (L.) Rud. subsp. *refractum* (Náb.) Cullen, 20, 17.06.2018, ÖK 5565. Iran Turan Hemikriptofit.

Papaver commutatum Fisch. & C.A.Mey. subsp. *commutatum*, 2, 30.06.2018, ÖK 5634. Hemikriptofit

Papaver rhoeas L., 21, 17.06.2018, ÖK 5566. Terofit

Papaver dubium L., 6, 19.05.2018, ÖK 5507. Terofit

BRASSICACEAE

Aethionema grandiflorum Boiss. & Hohen. 11, AD, ÖK 5899. Terofit

Aethionema arabicum (L.) Andr. ex DC., 10, 19.05.2018, ÖK 5511. Terofit

Alliaria petiolata (Bieb.) Cavara et Grande, 9, 04.05.2019, ÖK 5684. Terofit

Alyssum desertorum Stapf var. *desertorum*, 12, 19.05.2018, ÖK 5513. Terofit

Alyssum strigosum Banks & Sol. subsp. *strigosum*, 22, 26.04.2019, ÖK 5393. Terofit

Alyssum murale Waldst. & Kit. var. *murale*, 23, 17.06.2018, ÖK 5568. Terofit

Anchonium erichrysofolium (DC.) Boiss. subsp. *erichrysofolium* var. *canescens*, 5, 30.06.2018, ÖK 5637. Hemikriptofit

Arabis caucasica Willd. subsp. *caucasica*, 13, 19.05.2018, ÖK 5514. Hemikriptofit

Arabis caucasica Willd. subsp. *brevifolia* (DC.) Cullen, 9, 11.07.2020, ÖK 5801. Hemikriptofit

Barbarea minor K.Koch var. *robusta*, 14, 19.05.2018, ÖK 5515. End. Hemikriptofit

Barbarea plantaginea DC., 4, 08.05.2019, ÖK 5605. Hemikriptofit
Bornmuellera cappadocica (DC.) Cullen et Dudley, 25, 18.05.2018, ÖK 5653. Hemikriptofit
Brassica elongata Ehrh., 17, 06.06.2020, ÖK 5769. Terofit.
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik., 11, 19.05.2018, ÖK 5512. Terofit
Cardamine uliginosa Bieb., 16, 19.05.2018, ÖK 5516. Det: ŞY. Kriptofit
Cardaria draba (L.) Desf subsp. *draba*, 9, 19.05.2018, ÖK 5510. Hemikriptofit
Coluteocarpus vesicaria (L.) Holmboe subsp. *vesicaria*, 4, 30.06.2018, ÖK 5636. An.-Tur. Hemikriptofit
Conringia orientalis (L.) Andrz., 18, 06.06.2020, ÖK 5770. Terofit
Descuraina sophia (L.) Webb ex Prantl, 22, 8, 19.05.2018, ÖK 5518. Terofit
Erysimum eginense Hausskn. ex Bornm., 4, 8, 19.05.2018, ÖK 5517. End. Hemikriptofit
Fibigia clypeata (L.) Medik., 8, 11.07.2020, ÖK 5800. Hemikriptofit
Sinapis arvensis L. subsp. *arvensis*, 8, 19.05.2018, ÖK 5509.
Sisymbrium altissimum L., 24, 17.06.2018, ÖK 5569. Terofit
Sisymbrium loeselii L., 42, 22.04.2019, ÖK 5359. Terofit
Thlaspi perfoliatum L., 41, 16.04.2019, ÖK 5675. Terofit
CAPPARACEAE
Cleome ornithopodioides L., 26, 06.07.2019, ÖK 5736. Terofit
RESEDACEAE
Reseda lutea L. var. *lutea*, 5, 8, 19.05.2018, ÖK 5519. Hemikriptofit
CISTACEAE
Helianthemum ledifolium (L.) Mill. var. *ledifolium*, 27, 06.07.2019, ÖK 5737. Terofit
VIOLACEAE
Viola odorata L., 7, 19.05.2018, ÖK 5520. Kriptofit
PORTULACACEAE
Portulaca oleracea L., 15, 03.08.2020, ÖK 5870. Terofit
CARYOPHYLLACEAE
Acanthophyllum verticillatum (Willd.) Hand.-Mazz., 11, 11.07.2020, ÖK 5803. Iran Turan Kamefit
Arenaria serphyllifolia L., 8, 19.05.2018, ÖK 5521. Terofit
Cerastium longifolium Willd., 1, 20.04.2019, ÖK 5676. Terofit
Dianthus crinatus Sm. var. *crinatus*, 6, 30.06.2018, ÖK 5638. Hemikriptofit
Gysophila aucheri Boiss. 10, 11.07.2020, ÖK 5802. End. Iran Turan Hemikriptofit
Herniaria incana Lam., 21, 14.06.2020, ÖK 5774. Hemikriptofit
Holosteum umbellatum L. var. *umbellatum*, 10, 19.05.2018, ÖK 5523. Terofit
Minuartia hybrida (Vill.) Schischk. ssubsp. *hybrida*, 25, 17.06.2018, ÖK 5570. Akd. Terofit
Moenchia mantica (L.) Bartl. subsp. *mantica*, 26, 17.06.2018, ÖK 5571. Terofit
Paronychia kurdica Boiss. subsp. *kurdica* var. *kurdica*, 22, 14.06.2020, ÖK 5775. Hemikriptofit
Petrorhagia alpina (Hablitz) P.W. Ball & Heywood subsp. *alpina*, 28, 06.07.2019, ÖK 5738. Terofit
Sagina procumbens L., 36, 16.06.2019, ÖK 5701. Hemikriptofit
Saponaria prostrata Willd. subsp. *anatolica* Hedge, 27, 17.06.2018, ÖK 5572. End. Iran Turan Terofit
Scleranthus annuus L. subsp. *annuus*, 29, 17.06.2018, ÖK 5574. Hemikriptofit
Silene ampullata Boiss., 13, 19.05.2018, ÖK 5526. Iran Turan Hemikriptofit
Silene capitellata Boiss., 12, 19.05.2018, ÖK 5525. End. Hemikriptofit
Silene compacta Fisch., 14, 19.05.2018, ÖK 5527. Hemikriptofit
Silene conoidea L., 29, 06.07.2019, ÖK 5739. Terofit
Silene kotschyi Boiss. var. *kotschyi*, 19, 14.06.2020, ÖK 5772. Terofit
Silene spergulifolia (Desf.) M. Bieb., 28, 17.06.2018, ÖK 5573. Iran Turan. Hemikriptofit
Silene vulgaris (Moench) Garcke var. *commutata*, 20, 14.06.2020, ÖK 5773. Hemikriptofit
Stellaria media (L.) Vill. subsp. *media*, 9, 19.05.2018, ÖK 5522. Terofit
Velezia rigida L., 11, 8, 19.05.2018, ÖK 5524. Terofit
POLYGONACEAE
Atraphix spinosa L., 12, 11.07.2020, ÖK 5804. Iran Turan. Terofit
Polygonum arenarium Waldst. & Kit., 30, 06.07.2019, ÖK 5740. Terofit
Polygonum cognatum Meisn., 30, 17.06.2018, ÖK 5575. Hemikriptofit
Polygonum lapathifolium L., 7, 30.06.2018, ÖK 5639. Hemikriptofit

Rumex acetosella L. 31, 17.06.2018, ÖK 5576. Hemikriptofit
Rumex tuberosus L. subsp. *horizontalis* (K. Koch) Rech., 37, 16.06.2019, ÖK 5702. Hemikriptofit

AMARANTHACEAE

Amaranthus albus L., 31, 06.07.2019, ÖK 5741. Terofit
Amaranthus retroflexus L., 6, 16.05.2020, ÖK 5758. Terofit
Ceratocarpus arenarius L. 16, 16.06.2020, AD 1708. Terofit
Chenopodium album L. subsp. *album* var. *album* 33, 06.07.2019, ÖK 5742. Terofit
Chenopodium botrys L. 6, 16.06.2020, EB 3705. Terofit
Chenopodium foliosum L. 30, 17.06.2018, ÖK 5575. Terofit

TAMARICACEAE

Tamarix tetrandra Pallas ex M. Bieb., 36, 17.06.2018, ÖK 5577. Fanerofit

HYPERICACEAE

Hypericum scabrum L., 16, 19.05.2018, ÖK 5529. Iran Turan. Hemikriptofit
Hypericum perforatum L., 32, 06.07.2019, ÖK 5742. Hemikriptofit

MALVACEAE

Alcea calvertii (Boiss.) Boiss., 33, 06.07.2019, ÖK 5743. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Hibiscus trionum L., 17, 19.05.2018, ÖK 5520. T. Det: ŞY. Hemikriptofit
Malva neglecta Wallr., 1, 18.04.2020, ÖK 5753. Terofit

LINACEAE

Linum mucronatum Bertol. subsp. *mucronatum*, 32, 17.06.2018, ÖK 5578. Iran Turan. Hk. Hemikriptofit
Linum nodiflorum L., 13, 11.07.2020, EB 5805. Akd. Terofit

GERANIACEAE

Geranium rotundifolium L., 33, 17.06.2018, ÖK 5579. Terofit
Geranium stepporum P.H. Davis, 19, 19.05.2018, ÖK 5522. Terofit.
Geranium tuberosum L. subsp. *tuberosum*, 18, 19.05.2018, ÖK 5521. Iran Turan. Kriptofit.

ZYGOPHYLLACEAE

Tribulus terrestris L., 9, 30.06.2018, ÖK 5641. Terofit

RUTACEAE

Haplophyllum cappadocicum Spach, 38, 16.06.2019, ÖK 5703. End. Iran Turan. Kamefit

RHAMNACEAE

Paliurus spina-christi Mill., 20, 20.07.2018, ÖK 5723. Fanerofit

FABACEAE

Astragalus aureus Willd., 10, 30.06.2018, ÖK 5642. Iran Turan. Kamefit
Astragalus eriocephalus Willd. subsp. *elongatus* Chamb. & Matt, 34, 06.07.2019, ÖK 5744. Iran Turan. Kamefit
Astragalus gummifer Labill., 14, 11.07.2020, ÖK 5806. Iran Turan. Kamefit
Astragalus hilaris Bunge, 12, 30.06.2018, ÖK 5644. Terofit
Astragalus kurdicus Boiss. var. *kurdicus*, 16, 11.07.2020, ÖK 5808. Kamefit
Astragalus lineatus Lam. var. *lineatus*, 15, 11.07.2020, ÖK 5807. Iran Turan. Terofit
Astragalus lineatus Lam. var. *longidens* (Frey) Matthews, 22, 19.05.2018, ÖK 5525. Iran Turan. Kamefit
Astragalus pendulus DC., 39, 16.06.2019, ÖK 5704. Iran Turan. Hemikriptofit
Colutea cilicica Boiss. & Balansa, 21, 19.05.2018, ÖK 5524. Kamefit.
Coronilla varia L. subsp. *varia*, 28, 19.05.2018, ÖK 5531. Hemikriptofit
Dorycinium pentaphyllum Scop. subsp. *hausknechtii*, 5, 03.08.2020, ÖK 5864. End. Iran Turan Hemikriptofit
Lathyrus vinealis Boiss. & Noë, 35, 06.07.2019, ÖK 5745. Iran Turan. Hemikriptofit
Lotus corniculatus L. var. *tenuifolius*, 36, 06.07.2019, ÖK 5746. Hemikriptofit
Lotus gebelia Vent. var. *gebelia*, 27, 19.05.2018, ÖK 5530. Hemikriptofit
Medicago rigidula (L.) All. var. *cinerascens* (Jord.) Ponert, 39, 17.06.2018, ÖK 5585. Terofit
Medicago sativa L. subsp. *sativa*, 1, 16.06.2019, ÖK 5708. Hemikriptofit
Melilotus alba Desr., 24, 14.06.2020, ÖK 5777. Hemikriptofit
Melilotus officinalis (L.) Desr., 23, 14.06.2020, ÖK 5776. Hemikriptofit
Onobrychis oxyodonta Boiss., 37, 10.10.2018, ÖK 5670. Hemikriptofit

Ononis spinosa L. subsp. *leiosperma* (Boiss.) Sirj., 37, 17.06.2018, ÖK 5583. Iran Turan. Hemikriptofit
Pisum sativum L. subsp. *elatius* (Bieb.) Aschers. et Graebn. var. *pumilio*, 7, 16.05.2020, ÖK5759. Akd. Terofit
Trifolium angustifolium L. var. *intermedium* (Guss.) Gib. & Belli, 41, 16.06.2019, ÖK 5706. Terofit
Trifolium arvense L. var. *arvense*, 14, 30.06.2018, ÖK 5646. Terofit
Trifolium campestre Schreb., 24, 19.05.2018, ÖK 5527. Terofit
Trifolium hirtum All., 38, 17.06.2018, ÖK 5584. Akd. Terofit
Trifolium pratense L. var. *pratense*, 25, 19.05.2018, ÖK 5528.
Trifolium purpureum L. var. *purpureum*, 18, 11.07.2020, ÖK 5810. Terofit
Trifolium repens L. var. *repens*, 26, 19.05.2018, ÖK 5529. Terofit
Trigonella brachycarpa (Fisch.) Moris, 15, 30.06.2018, ÖK 5647. Iran Turan. Terofit
Trigonella kotschyi Fenzl, 19, 11.07.2020, ÖK 5811. End. Iran Turan. Terofit
Vicia anatolica Turrill., 40, 16.06.2019, ÖK 5705. Iran Turan. Terofit
Vicia cracca L. subsp. *stenophylla* Vel., 34, 17.06.2018, ÖK 5580. Hemikriptofit.
Vicia cuspidata Boiss., 36, 17.06.2018, ÖK 5582. Akd. Terofit
Vicia ervilia (L.) Willd., 35, 17.06.2018, ÖK 5581. Akd. Terofit
Vicia lathyroides L., 17, 11.07.2020, ÖK 5809. Terofit
Vicia pannonica Crantz. var. *pannonica*., 23, 19.05.2018, ÖK 5526. Terofit
Vicia sativa L. subsp. *nigra* (L.) Ehrh. var. *nigra*, 13, 30.06.2018, ÖK 5645. Terofit

ROSACEAE

Prunus armeniaca Lam., 40, 17.06.2018, ÖK 5586. Kültür. Fanerofit
Amygdalus communis L., 20, 11.07.2020, ÖK 5812. Fanerofit
Rubus sanctus Schreb., 37, 06.07.2019, ÖK 5747. Kamefit.
Potentilla recta L., 41, 17.06.2018, ÖK 5587. Hemikriptofit.
Potentilla reptans L., 2, 16.06.2019, ÖK 5709. Hemikriptofit.
Geum urbanum L., 1, 17.06.2018, ÖK 5588. Av.-Sib. Hemikriptofit.
Agrimonia eupatoria L., 16, 30.06.2018, ÖK 5648. Fanerofit
Rosa canina L., 38, 06.07.2019, ÖK 5748. Kamefit.
Crateagus meyeri Pojark, 21, 11.07.2020, ÖK 5813. Iran Turan. Fanerofit
Crateagus orientalis Pall. ex M. Bieb. var. *orientalis*, 22, 11.07.2020, ÖK 5814. Fanerofit
Pyrus elaeagnifolia Pall. subsp. *elaeagnifolia*, 3, 16.06.2019, ÖK 5710. Fanerofit

LYTHRACEAE

Lythrum salicaria L., 36, 03.08.2020, ÖK 5865. Av.-Sib. Hemikriptofit

ONAGRACEAE

Epilobium stevenii Boiss., 23, 11.07.2020, ÖK 5815. Iran Turan. Hemikriptofit
Epilobium hirsutum L., 36, 03.08.2020, ÖK 5866. Hemikriptofit

CRASSULACEAE

Rosularia radiceflora Boiss. subsp. *radiceflora*, 17, 30.06.2018, ÖK 5649. Iran Turan. Hemikriptofit
Umbilicus erectus DC., 24, 11.07.2020, ÖK 5816. Kriptofit
Sedum pallidum M. Bieb. var. *pallidum*, 18, 08.07.2018, ÖK 5650. Terofit

APIACEAE

Anthriscus nemorosa (M. Bieb.) Spreng., 29, 19.05.2018, ÖK 5532. Hemikriptofit
Artemisia squamata L., 34, 11.07.2020, ÖK 5820. Terofit
Astrodaucus orientalis (L.) Drude, 3, 17.06.2018, ÖK 5590. Iran Turan. T. Det: ŞY. Terofit
Bunium paucifolium DC. var. *paucifolium*, 20, 08.07.2018, ÖK 5652. Iran Turan. Kriptofit
Bupleurum gerardii All., 27, 14.06.2020, ÖK 5780. Terofit
Bupleurum rotundifolium L., 26, 14.06.2020, ÖK 5779. Terofit
Caucalis platycarpus L., 33, 11.07.2020, ÖK 5819. Terofit
Chaerophyllum leucoleum Boiss., 4, 16.06.2019, ÖK 5711. End. Kriptofit
Eryngium billardieri Delarbre, 19, 08.07.2018, ÖK 5651. Iran Turan. Hemikriptofit
Ferula orientalis L., 31, 19.05.2018, ÖK 5534. Iran Turan. Hemikriptofit
Heracleum persicum Desf., 31, 11.07.2020, ÖK 5817. Iran Turan. Hemikriptofit
Lecokia cretica (Lam.) DC. 44, ŞY 45091, 12.07.2019. Kriptofit
Malabaila lasiocarpa Boiss., 28, 14.06.2020, ÖK 5781. Hemikriptofit

Pimpinella corymbosa Boiss., 25, 14.06.2020, ÖK 5778. Iran Turan. Hemikriptofit
Scandix iberica M. Bieb., 5, 16.06.2019, ÖK 5712. Terofit
Scandix pecten-veneris L., 6, 16.06.2019, ÖK 5713. Terofit
Torilis leptocarpa (Hochst.) Townsend, 32, 11.07.2020, ÖK 5818. Iran Turan. Terofit
Zosima absinthifolia (Vent.) Link, 7, 16.06.2019, ÖK 5714. Kriptofit

RUBIACEAE

Asperula bornmuelleri Velen., 39, 06.07.2019, ÖK 5749. End. Iran Turan. Kamefit
Asperula laxiflora Boiss., 29, 14.06.2020, ÖK 5782. Öksin Elementi. Kamefit
Asperula stricta Boiss. subsp. *latibracteata*, 21, 08.07.2018, ÖK 5653. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Callipeltis cucullaria (L.) Steven, 8, 16.06.2019, ÖK 5715. Iran Turan. Terofit
Cruciata taurica (Pall. ex Willd.) Ehrend., 31, 14.06.2020, ÖK 5784. Iran Turan. Hk. Kamefit
Galium incanum Sm. subsp. *elatius* (Boiss.) Ehrend., 22, 08.07.2018, ÖK 5654. Iran Turan. Kamefit
Galium mite Boiss. & Hohen., 4, 17.06.2018, ÖK 5591. Iran Turan. Hk. Det: ŞY. Hemikriptofit

VALERIANACEAE

Valeriana sisymbriifolia Vahl., 5, 17.06.2018, ÖK 5592. Iran Turan. Kriptofit
Valerianella dactylophylla Boiss. & Hohen., 5, 17.06.2018, ÖK 5593. Terofit

CAPRIFOLIACEAE

Cephalaria syriaca (L.) Schrad., 9, 16.06.2019, ÖK 5716. Hemikriptofit
Scabiosa calocephala Boiss., 10, 16.06.2019, ÖK 5717. Iran Turan. Terofit

ASTERACEAE

Achillea aleppica DC. subsp. *aleppica*, 24, 08.07.2018, ÖK 5656. Iran Turan. Hemikriptofit
Achillea biebersteinii Afan., 34, 19.05.2018, ÖK 5537. Iran Turan. Hemikriptofit
Achillea wilhelmsii K. Koch., 39, 11.07.2020, ÖK 5825. Iran Turan. Hemikriptofit
Anthemis armeniaca Freyn & Sint., 9, 17.06.2018, ÖK 5597. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Anthemis cotula L., 10, 17.06.2018, ÖK 5598. Hemikriptofit
Anthemis cretica L. subsp. *albida* (Boiss.) Grierson, 34, 14.06.2020, ÖK 5787. Hemikriptofit
Anthemis tinctoria L. var. *tinctoria*, 38, 11.07.2020, ÖK 5824. Hemikriptofit
Bellis perennis L., 33, 19.05.2018, ÖK 5536. Av.-Sib. Hemikriptofit
Carduus pycnocephalus L. subsp. *albidus* (M. Bieb.) Kazmi, 14, 16.06.2019, ÖK 5721. Hemikriptofit
Carthamus dentatus Vahl, 1, 14.06.2020, ÖK 5795. Hemikriptofit
Centaurea aggregata Fisch. et Mey. ex DC. subsp. *aggregata*, 20, 03.08.2020, ÖK 5867. Hemikriptofit
Centaurea iberica Trev. ex Spreng., 15, 16.06.2019, ÖK 5722. Hemikriptofit
Centaurea kurdica Reichardt, 29, 14.06.2020, ÖK 5792. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Centaurea solstitialis L. subsp. *solstitialis*, 12, 17.06.2018, ÖK 5600. Hemikriptofit
Centaurea virgata Lam., 41, 11.07.2020, ÖK 5827. Hemikriptofit
Cichorium inthybus L., 2, 14.06.2020, ÖK 5796. Hemikriptofit
Cirsium amani Post., 25, 08.07.2018, ÖK 5657. Hemikriptofit
Cirsium cephalotes Boiss., 38, 14.06.2020, ÖK 5791. Hemikriptofit
Cnicus benedictus L. var. *benedictus*, 26, 08.07.2018, ÖK 5658. Hemikriptofit
Conyza canedensis (L.) Cronquist, 33, 14.06.2020, ÖK 5786. Terofit.
Cousinia sintenisii Freyn, 37, 14.06.2020, ÖK 5790. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Crepis foetida L. subsp. *rhoeadifolia* (M. Bieb.) Celák., 4, 11.07.2020, ÖK 5830. Terofit
Crupina crupinastrum (Moris.) Vis., 36, 19.05.2018, ÖK 5539. Terofit
Echinops orientalis Trautv., 3, 11.07.2020, ÖK 5829. Iran Turan. Hemikriptofit
Erigeron acer L. subsp. *pycnotrichus* (Vierh.) Grierson, 8, 17.06.2018, ÖK 5596. Av.-Sib. Hemikriptofit
Filago anatolica (Boiss. & Heldr.) Chrtek & Holub, 32, 19.05.2018, ÖK 5535. Terofit
Gundelia tournefortii L. var. *armata* Freyn ve Sint., 35, 19.05.2018, ÖK 5538. Iran Turan. Hemikriptofit
Helichrysum plicatum DC. subsp. *plicatum*, 36, 11.07.2020, ÖK 5822. Kamefit
Helichrysum arenarium (L.) Moench subsp. *aucheri*, 7, 17.06.2018, ÖK 5595. End. An.-Tur. Kriptofit
Inula oculus-christi L., 35, 11.07.2020, ÖK 5821. Av.-Sib. Kriptofit
Leontodon asperrimus (Willd.) J. Ball., 38, 19.05.2018, ÖK 5541. Iran Turan. Hemikriptofit
Onopordum acanthium L., 11, 17.06.2018, ÖK 5599. Hemikriptofit
Picnomon acarna (L.) Cass., 40, 11.07.2020, ÖK 5826. Akd. Hemikriptofit

Pulicaria dysenterica (L.) Bernh. subsp. *dysenterica* 23, 08.07.2018, ÖK 5655. Terofit
Scorzonera laciniata L. subsp. *laciniata*, 37, 19.05.2018, ÖK 5540. Hemikriptofit
Scorzonera pseudolanata Grossh., 10, 04.05.2019, ÖK 5685. T. Iran Turan. Hemikriptofit
Senecio eriospermus DC. var. *eriospermus*, 37, 11.07.2020, ÖK 5823. End. An-Tur. Hemikriptofit
Senecio pseudo-orientalis Schischk., 35, 14.06.2020, ÖK 5788. Iran Turan. Hemikriptofit
Senecio vernalis Waldst. & Kit., 11, 16.06.2019, ÖK 5718. Terofit
Tanacetum parthenium (L.) Sch. Bip., 12, 16.06.2019, ÖK 5719. Hemikriptofit
Tanacetum argentum (Lam.) Willd. subsp. *argentum*, 36, 14.06.2020, ÖK 5789. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Taraxacum montanum (C.A. Mey.) DC., 39, 19.05.2018, ÖK 5542. Iran Turan. Hemikriptofit
Tragopogon aureus Boiss., 27, 08.07.2018, ÖK 5659. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Tripleurospermum transcaucasicum (Manden.) Pobed., 13, 16.06.2019, ÖK 5720. Hemikriptofit
Tussilago farfara L., 2, 20.04.2019, ÖK 5677. Av.-Sib. Hemikriptofit
Xanthium spinosum L., 32, 14.06.2020, ÖK 5785. Terofit
Xanthium strumarium L. subsp. *strumarium*, 6, 17.06.2018, EB 5594. Terofit
Xeranthemum annuum L., 14, 17.06.2018, ÖK 5602. Terofit

CAMPANULACEAE

Asyneuma limonifolium (L.) Janch. subsp. *limonifolium*, 5, 11.07.2020, ÖK 5831. Hemikriptofit
Campanula conferta A. DC., 15, 17.06.2018, ÖK 5603. Iran Turan. Hemikriptofit
Legousia falcata (Ten.) Fritsch, 16, 17.06.2018, ŞY 40212. Akd. Terofit

APOCYNACEAE

Cynanchum acutum L. subsp. *acutum*, 6, 11.07.2020, ÖK 5832. Hemikriptofit
Vincetoxicum canescens (Willd.) Decne. subsp. *canescens*, 16, 16.06.2019, ÖK 5723. Hemikriptofit

CONVOLVULACEAE

Convolvulus carduchorum P.H. Davis, 30, 20.06.2020, ÖK 5779. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Convolvulus arvensis L., 31, 20.06.2020, ÖK 5780. Terofit

CUSCUTACEAE

Cuscuta campestris Yunck., 17, 16.06.2019, ÖK 5724. Terofit

BORAGINACEAE

Alkanna tinctoria (L.) Tausch subsp. *tinctoria*, 21, 17.06.2018, ÖK 5608. Akd. Hemikriptofit
Anchusa aucheri DC., 10, 11.07.2020, ÖK 5836. Hemikriptofit
Anchusa azurea Mill. var. *azurea*, 40, 19.05.2018, ÖK 5543. Hemikriptofit
Asperugo procumbens L., 11, 04.05.2019, ÖK 5686. Av.-Sib. Terofit
Buglossoides arvensis (L.) I.M. Johnst., 9, 11.07.2020, ÖK 5835. Terofit
Echium italicum L., 19, 17.06.2018, ÖK 5606. Akd. Hemikriptofit
Heliotropium circinatum Griseb., 17, 17.06.2018, ÖK 5604. Iran Turan. Terofit
Heliotropium dolosum De Not., 7, 11.07.2020, ÖK 5833. Terofit
Lappula barbata (M. Bieb.) Gürke, 8, 11.07.2020, ÖK 5834. Iran Turan. Hemikriptofit
Myosotis stricta Link ex Roem. & Schult., 18, 17.06.2018, ÖK 5605. Av.-Sib. Terofit
Onosma isaurica Boiss. & Heldr., 13, 03.08.2020, ÖK 5868. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Onosma sericea Willd., 20, 17.06.2018, ÖK 5607. Iran Turan. Hemikriptofit
Paracaryum strictum (K. Koch) Boiss., 18, 16.06.2019, ÖK 5725. Iran Turan. Hemikriptofit
Rindera caestiposa (A. DC.) Bunge, 19, 16.06.2019, ÖK 5726. Iran Turan. Hemikriptofit

SOLANACEAE

Solanum nigrum L. subsp. *nigrum*, 18, 03.08.2020, ÖK 5869. Terofit

SCROPHULARIACEAE

Verbascum variens Freyn & Sint. var. *variens* Boiss. ve Bal., 12, 11.07.2020, ÖK 5838. Hemikriptofit
Verbascum heterodantum Hub.-Mor., 41, 19.05.2018, ÖK 5544. Hemikriptofit
Verbascum lasianthum Boiss. ex Bentham, 28, 08.07.2018, ÖK 5660. Hemikriptofit
Scrophularia xanthoglossa Boiss. var. *decipiens*, 13, 11.07.2020, ÖK 5839. Iran Turan. Hemikriptofit
Scrophularia pulverulenta Boiss. & Noë, 22, 17.06.2018, ÖK 5609. End. Hemikriptofit
Scrophularia scopolii Hoppe ex Pers. var. *scopolii*, 14, 11.07.2020, ÖK 5840. Hemikriptofit
Scrophularia mesopotamica Boiss., 23, 17.06.2018, ÖK 5610. Hemikriptofit

OROBANCHACEAE

Pedicularis cadmea Boiss. 22, 11.07.2020, AD, ÖK 5849. Akd. Hemikriptofit
Bungea trifida (Vahl) C.A. Mey., 2, 19.05.2018, ÖK 5547. Iran Turan. Det: ŞY. Hemikriptofit

ACANTHACEAE

Acanthus dioscoridis L. var. *dioscoridis*, 22, 11.07.2020, ÖK 5841. Iran Turan. Hemikriptofit

LAMIACEAE

- Ajuga chamaepitys* (L.) Schreb. subsp. *chia* var. *chia*, 8, 16.05.2020, ÖK 5760. Hemikriptofit
Clinopodium vulgare L. subsp. *vulgare*, 8, 03.06.2018, ÖK 5553. Hemikriptofit
Lallemantia iberica (M. Bieb.) Fisch. & C.A.Mey., 10, 16.05.2020, ÖK 5762. An.-Tur. Terofit
Lamium album L., 12, 04.05.2019, ÖK 5687. Av.-Sib. Hemikriptofit
Lamium amplexicaule L., 3, 20.04.2019, ÖK 5678. Av.-Sib. Terofit
Lamium garganicum L. subsp. *reniforme* (Montbret & Aucher) Mill, 5, 03.06.2018, ÖK 5550. Hemikriptofit
Lamium purpureum L. var. *purpureum*, 40, 18.04.2020, ÖK 5750. Terofit
Marrubium globosum subsp. *globosum*, 25, 17.06.2018, ÖK 5612. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Mentha longifolia (L.) Huds. subsp. *typhoides* var. *typhoides*, 31, 17.06.2018, ÖK 5616. Hemikriptofit
Mentha spicata L. subsp. *spicata*, 31, 17.06.2018, ÖK 5615. Hemikriptofit
Nepeta baytopii Hedge & Lamond, 43, ŞY 44828, 01.12.2018. Hemikriptofit
Nepeta fissa C.A. Mey., 16, 11.07.2020, ÖK 5843. Iran Turan. Hemikriptofit
Nepeta nuda L. subsp. *lydia* Davis, 7, 03.06.2018, ÖK 5552. End. Akd. Hemikriptofit
Nepeta transcaucasica Grossh., 13, 04.05.2019, ÖK 5688. Iran Turan. Hemikriptofit
Origanum acutidens (Hand.-Mazz.) Letswaart, 16, 11.07.2020, ÖK 5845 End. Iran Turan. Hemikriptofit
Origanum vulgare subsp. *gracile* (K.Koch) Letswaart, 22, 16.06.2019, ÖK 5729. Iran Turan. Hemikriptofit
Phlomis sieheana Rech., 29, 08.07.2018, ÖK 5661. End. Iran Turan. Hemikriptofit
Prunella vulgaris L., 36, 11.07.2020, ÖK 5844. Av.-Sib. Hemikriptofit
Salvia aethiopsis L., 23, 16.06.2019, ÖK 5730. Hemikriptofit
Salvia brachyantha (Bordz.) Pobed., 1, 20.06.2020, ÖK 5793. Iran Turan. Hemikriptofit
Salvia ceratophylla L., 41, 20.06.2020, ÖK 5791. Iran Turan. Hemikriptofit
Salvia multicaulis Vahl., 40, 20.06.2020, ÖK 5790. Iran Turan. Hemikriptofit
Salvia trichoclada Benth., 39, 20.06.2020, ÖK 5789. Iran Turan. Hemikriptofit
Salvia verticillata L. subsp. *verticillata*, 38, 20.06.2020, ÖK 5788. Hemikriptofit
Satureja hortensis L., 17, 11.07.2020, ÖK 5846. Hemikriptofit
Scutellaria albida L. subsp. *candensata*, 9, 16.05.2020, ÖK 5761. Iran Turan. Hemikriptofit
Scutellaria orientalis L. subsp. *orientalis*, 21, 16.06.2019, ÖK 5728. End. Iran Turan. Kriptofit
Sideritis montana L. subsp. *montana*, 33, 20.06.2020, ÖK 5782. Akd. Terofit
Sideritis vulcanica Hub. & Mor., 33, 20.06.2020, AD 1283. End. Hemikriptofit
Stachys annua L. subsp. *annua* var. *annua*, 6, 03.06.2018, ÖK 5551. Hemikriptofit
Stachys balansae Boiss. & Kotschy subsp. *balansae*, 34, 20.06.2020, ÖK 5783. Kriptofit
Stachys lavandulifolia Vahl var. *brachydon* Boiss., 26, 17.06.2018, ÖK 5613. Iran Turan. Kriptofit
Teucrium orientale L. var. *orientale*, 24, 17.06.2018, ÖK 5611. Hemikriptofit
Teucrium parviflorum Schreb., 4, 03.06.2018, ÖK 5549. Iran Turan. Hemikriptofit
Teucrium polium L., 15, 11.07.2020, ÖK 5842. Hemikriptofit
Thymus kotschyanus Boiss. & Hohen. var. *eriophorus*, 35, 20.06.2020, ÖK 5785. Iran Turan. Kriptofit
Thymus kotschyanus Boiss. & Hohen. var. *glabrescens* Boiss., 27, 17.06.2018, ÖK 5614. An.-Tur. Kriptofit
Thymus kotschyanus Boiss. & Hohen. var. *kotschyanus*, 34, 20.06.2020, ÖK 5784. An.-Tur. Kriptofit
Ziziphora capitata L., 28, 17.06.2018, ÖK 5617. An.-Tur. Terofit
Ziziphora clinopodioides Lam., 36, 20.06.2020, ÖK 5786. Hemikriptofit
Ziziphora tenuior L., 37, 20.06.2020, ÖK 5787. Iran Turan. Terofit

PLANTAGINACEAE

- Globularia trichosantha* Fisch. & C.A.Mey. subsp. *trichosantha*, 3, 19.05.2018, ÖK 5548. Hemikriptofit
Linaria kurdica Boiss. & Hohen. subsp. *kurdica* Boiss. ve Huet, 20, 16.06.2019, ÖK 5727. Iran Turan. Hemikriptofit

Plantago lanceolata L., 11, 16.05.2020, ÖK 5763. Hemikriptofit
Plantago major L. subsp. *intermedia* (Gilib.) Lange, 10, 03.06.2018, ÖK 5555. Hemikriptofit
Veronica beccabunga L. subsp. *abscondita* M.A. Fisch., 1, 19.05.2018, ÖK 5546. Iran Turan. Terofit
Veronica bozakmanii M.A. Fisch., 41, 19.05.2018, ÖK 5545. Iran Turan. Terofit

ARISTOLOCHIACEAE

Aristolochia maurorum L., 29, 17.06.2018, ÖK 5618. Iran Turan. Hemikriptofit
Aristolochia bottae Jaub. & Spach, 2, 20.06.2020, ÖK 5794. Iran Turan. Hemikriptofit

EUPHORBIACEAE

Andrachne telephioides L., 3, 20.06.2020, ÖK 5795. Terofit
Euphorbia chamaesyce L., 30, 17.06.2018, ÖK 5619. Terofit
Euphorbia aleppica L., 24, 16.06.2019, ÖK 5731. Iran Turan. Terofit
Euphorbia szovitsii Fisch. & C.A. Mey. subsp. *szovitsii*, 31, 17.06.2018, ÖK 5620. Iran Turan. Terofit
Euphorbia denticulata Lam., 18, 11.07.2020, ÖK 5847. Iran Turan. Hemikriptofit
Euphorbia macroclada Boiss., 32, 17.06.2018, ÖK 5622. Iran Turan. Hemikriptofit
Euphorbia virgata Waldst. & Kit., 4, 20.06.2020, ÖK 5796. Hemikriptofit
Euphorbia altissima Boiss. var. *altissima*, 25, 16.06.2019, ÖK 5732. Iran Turan. Hemikriptofit
Euphorbia heteradena Jaub. & Spach, 5, 20.06.2020, ÖK 5797. Iran Turan. Hemikriptofit

URTICACEAE

Urtica dioica L., 14, 19.05.2019, ÖK 5689. Av.-Sib. Hemikriptofit

MORACEAE

Morus nigra L., 30, 19.05.2019, ÖK 5690. Kültür. Fanerofit
Ficus carica L. subsp. *carica* (All.) Schinz & Thell., 26, 16.06.2019, ÖK 5733. Fanerofit

FAGACEAE

Quercus robur L. subsp. *pedunculiflora* (K.Koch) Menitsky, 2, 18.04.2020, ÖK 5754. Fanerofit
Quercus petraea Liebl. subsp. *pinnatiloba* (K. Koch) Menitsky, 15, 19.05.2019, ÖK 5691. Fanerofit
Quercus libani Olivier, 33, 17.06.2018, ÖK 5623. Iran Turan. Fanerofit

SALICACEAE

Salix alba L., 11, 03.06.2018, ÖK 5556. Av.-Sib. Fanerofit
Populus alba L., 6, 20.06.2020, ÖK 5798. Av.-Sib. Fanerofit
Populus tremula L., 12, 16.05.2020, ÖK 5764. Av.-Sib. Fanerofit

LILIOPSIDA (MONOCOTYLEDON)

AMARYLLIDACEAE

Allium atroviolaceum Boiss., 34, 17.06.2018, ÖK 5624. Kriptofit
Allium cardiostemon Fisch. & C.A. Mey, 19, 11.07.2020, ÖK 5848. Iran Turan. Kriptofit

LILIACEAE

Asphodeline damascena (Boiss.) Baker subsp. *damascena*, 7, 20.06.2020, ÖK 5799. Iran Turan. Kriptofit
Eremurus spectabilis M. Bieb., 30, 19.05.2019, ÖK 5692. Iran Turan. Kriptofit
Fritillaria caucasica Adam 45, 22.04.2019, ŞY 45124. Av.-Sib. Kriptofit
Fritillaria gencensis Yıld., Kılıç & A.Demirpolat, 46, 22.04.2019, ŞY45138, Iran Turan. End. Kriptofit
Fritillaria pinardii Boiss., 35, 17.06.2018, ÖK 5625. Iran Turan. Kriptofit
Gagea taurica Stev., 6, 20.04.2019, ÖK 5681. Iran Turan. Kriptofit
Puschkinia scilloides Adams var. *libanotica* (Zucc.) Boiss., 45, 22.04.2019, ŞY 45126. Iran Turan. Kriptofit
Tulipa armena Boiss. var. *armena*, 27, 16.06.2019, ÖK 5734. Iran Turan. Kriptofit

IXIOLIRIACEAE

Ixiolirion tataricum (Pall.) Herb. subsp. *montanum* (Labill.) Takht., 36, 17.06.2018, ÖK 5626. Iran Turan. Kriptofit

COLCHICACEAE

Colchicum szovitsii Fisch. & C.A.Mey subsp. *szovitsii*, 7, 20.04.2019, ÖK 5682. Iran Turan. Kr. Det: ŞY. Kriptofit

ASPARAGACEAE

Ornithogalum oligophyllum E.D. Clarke, 4, 20.04.2019, ÖK 5679. Kriptofit

Ornithogalum plathyphyllum Boiss., 42, 18.04.2020, ÖK 5752. Iran Turan. Kriptofit
Muscari armeniacum Leichtlin ex Baker, 5, 20.04.2019, ÖK 5680. Kriptofit
Muscarcomosum (L.) Mill., 13, 16.05.2020, ÖK 5765. Iran Turan. Kriptofit
Bellevialia sarmatica (Pall. ex Georgi) Woronow, 12, 03.06.2018, ÖK 5557. Kriptofit
Scilla siberica Haw. subsp. *armena* (Grossh.) Mordak, 45, 22.04.2019, ÖK 45127. Iran Turan. Kriptofit

IRIDACEAE

Iris reticulata M. Bieb. var. *reticulata*, 13, 03.06.2018, ÖK 5558. Kriptofit
Iris persica L., 46, 22.04.2019, ŞY 45137. Iran Turan. Kriptofit
Crocus biflorus Mill. subsp. *tauri* (Maw.) B. Mathew, 37, 10.10.2018, ÖK 5672. Iran Turan. Kriptofit
Gladiolus humulus Stapf, 37, 17.06.2018, ÖK 5627. End. Iran Turan. Kriptofit

ORCHIDACEAE

Orchis tridentata Scop., 4, 18.06.2020, ÖK 5756. Kriptofit
Dactylorhiza osmanica (Klinge) Soo. var. *anatolica*, 29, 19.06.2019, ÖK 5694. End. Iran Tur. Kriptofit

TYPHACEAE

Typha latifolia L., 19, 16.05.2020, ÖK 5766. Hemikriptofit

JUNCACEAE

Juncus inflexus L., 14, 03.06.2018, ÖK 5559. Hemikriptofit
Juncus alpinus Vill. subsp. *alpinus*, 35, 11.07.2020, ÖK 5850. Hemikriptofit

CYPERACEAE

Cyperus fuscus L., 36, 17.06.2018, ÖK 5628. Av.-Sib. Hemikriptofit
Scirpoides holoschoenus (L.) Sojak, 28, 11.07.2020, ÖK 5851. Hemikriptofit
Carex stenophylla Wahlenb. subsp. *stenophylloides*, 35, 11.07.2020, ÖK 5852. Iran Turan.
Carex hirta L., 36, 10.10.2018, ÖK 5671. Av.-Sib. Hemikriptofit
Carex pachystylis J. Gay., 5, 18.04.2020, ÖK 5757. Iran Turan. Hemikriptofit

ISOETACEAE

Isoetes olympica A. Braun. 45, 22.04.2019, ŞY 45112. Hemikriptofit

POACEAE

Aegilops cylindrica Host, 4, 15.07.2013, ÖK 5261. Iran Turan. Terofit
Agrostis gigantea Roth., 31, 16.06.2019, ÖK 5696. Av.-Sib. Terofit
Apera intermedia Hack., 30, 16.06.2019, ÖK 5695. Iran Turan. Terofit
Arrhenatherum kotschyii Boiss., 32, 02.08.2018, ÖK 5665. Iran Turan. Hemikriptofit
Avena sterilis L. subsp. *sterilis*, 40, 11.07.2020, ÖK 5857. Terofit
Beckmannia eruciformis (L.) Host, 36, 02.08.2018, ÖK 5669. Hemikriptofit
Bromus danthoniae Trin., 38, 11.07.2020, ÖK 5855. Terofit
Bromus scoparius L., 39, 11.07.2020, ÖK 5856. Terofit
Bromus tectorum L. subsp. *tectorum*, 31, 02.08.2018, ÖK 5664. Terofit
Calamagrostis pseudophrogmites (Haller f.) Koeler, 41, 11.07.2020, ÖK 5858. Av.-Sib. Hemikriptofit
Catabrosa aquatica (L.) P. Beauv., 3, 11.07.2020, ÖK 5861. Kriptofit
Cynodon dactylon (L.) Pers. var. *villosus* Regel, 28, 11.07.2020, ÖK 5863. Hemikriptofit
Dactylis glomerata L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman, 32, 16.06.2019, ÖK 5697. Hemikriptofit
Elymus repens (L.) Gould subsp. *repens*, 30, 02.08.2018, ÖK 5663. Iran Turan. Hemikriptofit
Festuca chalcophaea V. Krecz. & Bobrov subsp. *chalcophaea*, 33, 02.08.2018, ÖK 5666. Iran Turan.
Gaudionopsis macra (Bieb.) Eig subsp. *macra*, 38, 17.06.2018, ÖK 5629. Iran Turan. Terofit
Hordeum bulbosum L., 15, 03.06.2018, ÖK 5560. Kriptofit
Hordeum violaceum Boiss. & A. Huet, 37, 11.07.2020, ÖK 5854. Iran Turan. Terofit
Lolium prene L., 41, 17.06.2018, ÖK 5632. Av.-Sib. Terofit
Melica persica Kunth subsp. *persica*, 18, 11.07.2020, ÖK 5862. Iran Turan. Hemikriptofit
Phleum montanum K. Koch subsp. *montanum*, 1, 11.07.2020, ÖK 5859. Terofit
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud., 40, 17.06.2018, ÖK 5631. Av.-Sib. Hemikriptofit
Poa bulbosa L. var. *vivipara*, 16, 03.06.2018, ÖK 5561. Kriptofit
Poa caucasica Trin., 34, 02.08.2018, ÖK 5667. Av.-Sib. Hemikriptofit
Secale ciliatoglume (Boiss.) Grossh., 36, 11.07.2020, ÖK 5853. Iran Turan. Terofit
Stipa ehrenbergiana Trin. & Rupr., 35, 02.08.2018, ÖK 5669. Iran Turan. Hemikriptofit

Vulpia muralis (Kunt) Nees, 39, 17.06.2018, ÖK 5630. Akd. Terofit
Vulpia myuros (L.) C.C. Gmelin, 2, 11.07.2020, ÖK 5860. Terofit
Zingeria pisdica (Boiss.) Tutin, 33, 16.06.2019, ÖK 5698. Iran Turan. Terofit

Bitki listesindeki kısaltmalar: Av.-Sib.: Avrupa-Sibirya elementi; Akd.: Akdeniz elementi; Iran Tur.: Iran-Turan elementi; ÖK: Ömer Kılıç; AD: Azize Demirpolat; ŞY: Şinasi Yıldırım; EB: Eyüp Bağcı; Det: Teşhis eden; End.: Endemik.

Asteraceae familyası araştırma alanında 51 takson ve % 12,6'lık oranla Türkiye Florası'ndaki % 13,1'lik orana yakın olup araştırma sahasında takson içeriği açısından ilk sırada tespit edilmiştir. Asteraceae (Compositae) familyası kozmopolit özellikte olup, bu familya üyelerinin farklı habitatlara adaptasyonlarının iyi olması, pappusları sayesinde kolaylıkla yayılabilme özelliklerinin olması gibi nedenler, Compositae üyelerinin ülkemiz ve çalışma alanımız florasında en fazla taksona sahip familya olmasının sebeplerinden sayılabilir. Tablo 1'de görüleceği üzere Bingöl'de yapılmış olan diğer floristik çalışmalarda da Asteraceae familyası takson sayısı bakımından ilk sıradadır. Türkiye Florası'nda takson sayısı en fazla olan familyalar, Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae, Brassicaceae, Poaceae ve Caryophyllaceae familyası şeklinde olup (Davis, 1978), bu durum çalışmamız ile kıyaslandığında, bazı familyaların ilk altındaki sıralarının değiştiği, ancak sıralamanın az çok birbiriyle benzer olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Çalışma alanında en çok takson içeren ikinci familya 42 takson ve %10,4'lük oranla Lamiaceae familyasıdır (Tablo 1). Araştırma alanında Lamiaceae üyelerine uygun habitatların fazlalığı, alanın bazı kesimlerinde kısmen Akdeniz iklim ve mikroklima özelliklerinin görülmesi gibi nedenler Labiatae familyasının çalışma sahamızda takson sayısı bakımından ikinci sırada bulunmasını sağlamıştır diyebiliriz. Araştırma sahasında 38 takson ile üçüncü sırayı alan Leguminosae familyası üyelerinin bir kısmının kozmopolit olması ve ülkemiz Florası'nda da takson içeriği bakımından ikinci sırada olması bu familya üyelerinin alanımızda takson sayısı bakımından üçüncü sırada bulunmasına sebep olan nedenler arasında sayabiliriz. Araştırma sahamızda takson sayısı bakımından dördüncü sırada 27 takson ile Poaceae familyası bulunmaktadır. Gramineae üyelerinin çoğunun kozmopolit olması ve alanımızdaki habitatlarının genelde açık çayırlar, bozkır alanlar, kumlu ve mera alanları olması gibi sebepler Poaceae taksonlarının bölgede zenginleştirmiştir. Cruciferae üyelerinin çoğunluğunun terofit hayat formunda olması ile zorlu iklim koşullarına uyum kapasitelerinin yüksek olması gibi nedenler, Brassicaceae üyelerinin alandaki yoğunluğunu artırmıştır (Tablo 1). Araştırma alanında ve yakın alanlardaki diğer çalışmalarda takson sayısı bakımından ilk 5 familya sıralaması ve oranları Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. En fazla takson içeren ilk beş familyanın çalışmalara göre dağılımı

| ÇALIŞMA ALANI | FAMİLYA SIRALAMASI VE ORANLARI |
|---|--|
| Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası | Asteraceae (%12,6), Lamiaceae (%10,4), Fabaceae (%9,4), Poaceae (%7,2), Brassicaceae (%6,9) |
| Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve Yakın Çevresinin Florası (Demirpolat ve ark., 2021) | Asteraceae (%9,5), Fabaceae (%8,5), Brassicaceae (%8,5), Lamiaceae (%8,1), Poaceae (%7,8) |
| Kuruca Köyü (Bingöl) ile Bingöl Arasındaki Sahanın Florası (Demiroğlu ve ark., 2021) | Asteraceae (%12,35), Fabaceae (%10,26), Brassicaceae (%9,56), Lamiaceae (%6,99), Poaceae (%5,83) |
| Hiro Yaylası (Adaklı-Bingöl) ve Çevresinin Florası (Yapar ve Behçet, 2018) | Asteraceae (%12,46), Fabaceae (%9,75), Poaceae (%7,99), Brassicaceae (%7,17), Lamiaceae (%6,93) |
| Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) Çevresinin Florası (Kılıç ve ark., 2017) | Asteraceae (%12,1), Fabaceae (%9,6), Brassicaceae (%8,9), Poaceae (%7,8), Lamiaceae (%7,8) |
| Göynük Nahiyesi ve Çevresinin (Karlöva-Bingöl) Florası (Cengiz, 2016) | Asteraceae (%11,90), Fabaceae (%9,58), Poaceae (%7,69), Brassicaceae (%7,69), Lamiaceae (%6,24) |
| Altıkardaş Dağı ve Çevresinin (Bingöl, Genç) Florası (Sinan ve Behçet, 2014) | Asteraceae (%12,92), Poaceae (%10,84), Fabaceae (%8,22), Brassicaceae (%5,79), Lamiaceae (%5,79) |
| Dikme Yaylası Bingöl (Merkez) ve Çevresinin Florası (Kılıç ve Yıldırım, 2014) | Asteraceae (%14,00), Lamiaceae (%9,1), Fabaceae (%8,3), Poaceae (%7,4), Brassicaceae (%6,9) |
| Bingöl Dağı ve Çevresindeki İlçelerin Floristik Araştırılması (Engin, 1990) | Asteraceae (%13,45), Fabaceae (%6,94), Poaceae (%6,43), Brassicaceae (%7,74), Lamiaceae (%7,03) |

Alanımızda takson sayısı en fazla 5 cins: *Astragalus*, *Centaurea*, *Silene*, *Vicia*, *Salvia* şeklindedir. En fazla takson içeren ilk beş cinsin, şimdiye kadar yapılmış diğer çalışmalara göre dağılımı Tablo 2’de belirtilmiştir. Bu cinslerin en fazla takson içeren cinsler olması, bu cinslere ait taksonların genellikle geniş yayılışa sahip olması, daha çok bozkır karakterli habitatlarda yayılış gösterip, olumsuz biyotik veya abiyotik çevre faktörlerine dayanıklı olması, bölgedeki ekolojik koşullara daha iyi uyum sağlamaları gibi nedenler alanımızda üyelerinin artmasına neden olmuştur.

Tablo 2. En fazla takson içeren ilk beş cinsin çalışmalara göre dağılımı

| ÇALIŞMA ALANI | CİNS SIRALAMASI |
|--|---|
| Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası | <i>Astragalus</i>, <i>Centaurea</i>, <i>Silene</i>, <i>Vicia</i>, <i>Salvia</i> |
| Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve Yakın Çevresinin Florası (Demirpolat ve ark., 2021) | <i>Silene</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Astragalus</i> , <i>Vicia</i> , <i>Salvia</i> |
| Kuruca Köyü (Bingöl) ile Bingöl Arasındaki Sahanın Florası (Demiroğlu ve ark., 2021) | <i>Astragalus</i> , <i>Centaurea</i> , <i>Alyssum</i> , <i>Salvia</i> , <i>Trifolium</i> |
| Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) Çevresinin Florası (Kılıç ve ark., 2017) | <i>Centaurea</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Astragalus</i> , <i>Salvia</i> , <i>Euphorbia</i> |
| Göynük Nahiyesi ve Çevresinin (Karlöva-Bingöl) Florası (Cengiz, 2016) | <i>Astragalus</i> , <i>Silene</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Veronica</i> , <i>Vicia</i> |
| Altıkardaş Dağı ve Çevresinin (Bingöl, Genç) Florası (Sinan ve Behçet, 2014) | <i>Veronica</i> , <i>Astragalus</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Myosotis</i> , <i>Polygonum</i> |
| Dikme Yaylası Bingöl (Merkez) ve Çevresinin Florası (Kılıç ve Yıldırım, 2014) | <i>Astragalus</i> , <i>Silene</i> , <i>Centaurea</i> , <i>Salvia</i> , <i>Euphorbia</i> |
| Hiro Yaylası (Adaklı-Bingöl) ve Çevresinin Florası (Yapar ve Behçet, 2018) | <i>Astragalus</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Centaurea</i> , <i>Salvia</i> , <i>Veronica</i> |
| Bingöl Dağı ve Çevresindeki İlçelerin Bitkilerinin Floristik Araştırılması (Engin, 1990) | <i>Astragalus</i> , <i>Centaurea</i> , <i>Salvia</i> , <i>Veronica</i> , <i>Alyssum</i> |

Alanımız ile alanımıza yakın floristik çalışmalardaki takson sayısı bakımından familya ve cins sıralamalarındaki farkların olduğu ve bunun da ekolojik ve habitat farklılığından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Araştırma alanımız ile yakın alanlardaki floristik araştırmalar sonucunda belirlenen fitocoğrafik bölge üyelerinin karşılaştırmalı oranları Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Araştırma alanı ve yakın alanlardaki taksonların fitocoğrafik bölgelere dağılım oranları

| Çalışma Alanı | İran-Turan (%) | Akdeniz (%) | Avrupa - Sibiryaya (%) | Diğerleri (%) |
|--|----------------|-------------|------------------------|---------------|
| Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası | 34,9 | 3,9 | 5,9 | 55,3 |
| Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve Yakın Çevresinin Florası (Demirpolat ve ark., 2021) | 35,6 | 4,9 | 7,6 | 51,8 |
| Kuruca Köyü (Bingöl) ile Bingöl Arasındaki Sahanın Florası (Demiroglu ve ark., 2021) | 34,7 | 3,0 | 5,6 | 56,6 |
| Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) Çevresinin Florası (Kılıç ve ark., 2017) | 35,8 | 3,6 | 5,4 | 55,2 |
| Hiro Yaylası (Adaklı-Bingöl) ve Çevresinin Florası (Yapar ve Behçet, 2018) | 34,2 | 5,3 | 7,9 | 52,5 |
| Göynük Nahiyesi ve Çevresinin (Karlıova-Bingöl) Florası (Cengiz, 2016) | 35,5 | 4,4 | 9,3 | 50,8 |
| Dikme Yaylası Bingöl (Merkez) ve Çevresinin Florası (Kılıç ve Yıldırım, 2014) | 35,6 | 4,2 | 6,5 | 52,6 |
| Altıkardağ Dağı ve Çevresinin (Bingöl, Genç) Florası (Sinan ve Behçet, 2014) | 26,4 | 8,6 | 8,4 | 56,5 |
| Bingöl Dağı ve Çevresindeki İlçelerin Bitkilerinin Floristik Araştırılması (Engin, 1990) | 43,3 | 1,4 | 10,8 | 44,5 |

Araştırma sahası tümüyle İran-Turan fitocoğrafik bölgesinde olup, B8 karesi sınırları içerisindedir. Araştırma sahasında 141 adet İran-Turan fitocoğrafik bölgesi örneği bulunmaktadır. İran-Turan fitocoğrafik bölgesinin genelinde karasal iklim özellikleri hâkim olup, araştırma alanımızda da karasal iklim özelliklerinin baskın olması İran-Turan fitocoğrafik üyelerinin alanda fazla görülmesinin en önemli nedenlerinden biridir. Avrupa-Sibiryaya fitocoğrafik bölgesinde, nemli, serin ve yarı ılıman iklim özellikleri hâkim olup, alanımızda da bu tür habitatların olması Avrupa-Sibiryaya fitocoğrafik bölgesine ait takson sayısının 24 takson ve %5,9'luk değerinde bulunmasında neden olmuştur. Akdeniz elementleri, araştırma alanında 16 takson ve %3,9'luk orandadır (Tablo 3). Akdeniz fitocoğrafik bölge taksonlarının alanımızda daha az görülmesinin nedeni, alanın karasal iklim özelliğinde olması ve ılıman ve yaz kuraklık etkisinin olduğu habitatların araştırma alanında az olmasına bağlanabilir. Tablo 3'de belirttiğimiz gibi çalışmamızın sonuçları yakın alanlarda yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Tablo 3'te tartışılan çalışmalar İran-Turan fitocoğrafik bölgesinde bulunan alanlardır. Böylece İran-Turan elementlerinin tüm çalışmalarda takson içeriğinden birinci sırada olması beklenen bir durumdur. Araştırma sahası ve yakın çevredeki çalışmalardaki taksonların bitki coğrafyası

bölgelerine göre dağılım oranlarında yakınlıklar görülüp, oranlardaki farklılıklar çalışma alanlarının değişebilen jeolojik, jeomorfolojik, topoğrafik, ekolojik özelliklerinden ve arazi çalışmalarının dönem ve yöntem farklılıklardan kaynaklanabilmektedir. Alanda 32 taksonun endemik olduğu tespit edilmiştir ve endemizm oranı % 8,4'tür (Tablo 4). Bingöl'de yapılmış çalışmalar ile bizim çalışmamızın karşılaştırması Tablo 4'te verilmiştir.

| Tablo 4. Araştırma alanımız ile yakın alanlarda belirlenen takson sayısı ile endemizm oranları | | |
|---|----------------------|---------------------------|
| Çalışma Başlığı | Takson Sayısı | Endemizm Oranı (%) |
| Genç İlçesi (Bingöl) ve Yakın Çevresinin Florası | 403 | 8,4 |
| Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve Yakın Çevr. Florası (Demirpolat ve ark., 2021) | 471 | 8,7 |
| Kuruca Köyü (Bingöl) ile Bingöl Ara. Sahanın Florası (Demirel ve ark., 2021) | 429 | 5,8 |
| Yüzenadalar (Bingöl-Solhan) Çevresinin Florası (Kılıç ve ark., 2017) | 446 | 12,5 |
| Altıkardaş Dağı ve Çevresinin (Bingöl, Genç) Florası (Sinan ve Behçet, 2014) | 533 | 3,9 |
| Bingöl Dağı ve Çevresindeki İlçelerin Bitkilerinin Floristik Araştırılması (Engin, 1990) | 980 | 13,2 |
| Dikme Yaylası Bingöl (Merkez) ve Çevresinin Florası (Kılıç ve Yıldırım, 2014) | 707 | 10,6 |
| Hiro Yaylası (Adaklı-Bingöl) ve Çevresinin Florası (Yapar ve Behçet, 2018) | 846 | 8,5 |
| Göynük Nahiyesi ve Çevresinin (Karlıova-Bingöl) Florası (Cengiz, 2016) | 689 | 9,0 |

Türkiye'de bitki taksonlarının endemizm oranı yaklaşık olarak %33 civarında olup bu orana alanımız ile yakın çevrede gerçekleştirilen çalışmalarda yaklaşamamıştır. Araştırma alanlarında dar yayılışlı endemiklerin olması, bazı bitkilerinin kültürlerinin yapılması, yerleşim alanlarının genişlemesi, olumsuz çevre koşulları, biyotik ve abiyotik baskılar gibi temel sebepler endemik bitkilerin yayılışlarını ve alanda bulunmalarını olumsuz etkileyerek çalışma alanındaki ve yakın alanlardaki endemizm oranının düşmesine neden olmaktadır.

Tükenme riskleri yüksek olan ve yakın gelecekte tehlike sınıfına girebilecek türleri sınıflandırmak için kullanılan IUCN (Uluslararası Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği) sistemi çalışma alanımızda tehlike kategorisinde olan taksonlar için Tablo 5'te görülmekte olup, bu taksonlardan belirlediğimiz *Fritillaria gencensis* isimli yeni tür, mevcut lokalite ve habitatında dar yayılış gösterdiği ve çalışma alanımızda da birey sayısı az ve yakın gelecekte tehdit altında olarak tanımlanma olasılığı olan tür olarak tespit edildiğinden bunun Tehdite Yakın (Near Threatened) olarak sınıflandırılması uygun görülmüştür.

Tablo 5. Araştırma endemik taksonların tehlike kategorileri

| Endemik Takson | IUCN Sınıfı | Endemik Takson | IUCN Sınıfı |
|--|--------------------|--|-------------------|
| <i>Barbarea minor</i> var. <i>robusta</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Trigonella kotschyi</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Erysimum eginense</i> | Duyarlı (VU) | <i>Dorycinium pentaphyllum</i> subsp. <i>haussknechtii</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Saponaria prostrata</i> subsp. <i>anatolica</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Chaerophyllum leucoleanum</i> | Duyarlı (VU) |
| <i>Gypsophila aucheri</i> | Duyarlı (VU) | <i>Asperula stricta</i> Boiss. subsp. <i>latibracteata</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Silene capitellata</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Asperula bornmuelleri</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Alcea calvertii</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Galium incanum</i> subsp. <i>elatus</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Haplophyllum cappadocicum</i> | Tehdite Yakın (NT) | <i>Senecio eriospermus</i> var. <i>crambefolius</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Helichyrsium arenarium</i> subsp. <i>aucheri</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Anthemis armeniaca</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Cousinia sintenisii</i> | Duyarlı (VU) | <i>Tanacetum argentum</i> subsp. <i>argentum</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Centaurea kurdica</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Tragopogon aureus</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Convolvulus carduchorum</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Onosma isaurica</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Scutellaria orientalis</i> subsp. <i>orientalis</i> | Duyarlı (VU) | <i>Scrophularia pulverulenta</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Marrubium globosum</i> subsp. <i>globosum</i> | Düşük Riskli (LC) | <i>Phlomis sieheana</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Nepeta nuda</i> subsp. <i>lydia</i> | Duyarlı (VU) | <i>Sideritis vulcanica</i> | Duyarlı (VU) |
| <i>Fritillaria gencensis</i> | Tehdite Yakın (NT) | <i>Origanum acutidens</i> | Düşük Riskli (LC) |
| <i>Dactylorhiza osmanica</i> var. <i>anatolica</i> | Tehdite Yakın (NT) | <i>Gladiolus humulis</i> | Duyarlı (VU) |

Ülkemizdeki floristik çalışmaların sonuçlarının birçoğunda genellikle hemikriptofit bitkilerin yaygın olduğu görülmektedir. Hemikriptofit özellikteki bitkilerin araştırma sahamızda 197 adet ve %48,8 oranla birinci sırada olması beklenen bir sonuçtur. Terofitler 136 takson ve %33,7 oranla çalışma alanında ikinci sırada olup, alanımızda da bu tür habitatların baskın ve belirgin bir yaz kuraklık dönemi bulunmaktadır. Kriptofitler bitkiler alanımızda 36 takson ve %8,9 oranla çalışma alanında üçüncü sıradadır. Kamefitler ve fanerofitler 17 takson ve %4,2'lik oran ile dördüncü sıradadırlar (Tablo 6). Araştırma alanındaki fanerofitler ile kamefitlerin daha çok çalılık ve dağlık alanlarda, bahçelerde ve dere içlerinde yayıldıkları gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Çalışma alanındaki taksonların hayat formları

| Hayat Formu | Takson Sayısı | Toplam Takson Sayısına (403) Oranı |
|---------------|---------------|------------------------------------|
| Hemikriptofit | 197 | %48,8 |
| Terofit | 136 | %33,7 |
| Kriptofit | 36 | %8,9 |
| Kamefit | 17 | %4,2 |
| Fanerofit | 17 | %4,2 |

4. Sonuçlar

Sonuç olarak belirlediğimiz alanda ilk defa yapılmış olan bu alışma, Bingöl il florasına, bölgeye ve ülkeye belirli ölçüde katkı sağlayacaktır. Çalışma kapsamında *Fritillaria gencensis* Yıld., Kılıç ve Demirpolat isimli bitki yeni tür olarak belirlenip Genç ilçemizin ismi verilerek literatüre kazandırılmıştır (Yıldırım ve ark., 2019). Araştırma alanında incelenen taksonların IUCN kategorisine göre değerlendirilmesinde 8 takson VU, 21 takson LC ve 3 takson NT olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Ayrıca Tıbbi ve aromatik bitki grubu olan Lamiaceae familyası üyelerinin gerek cins ve gerekse tür yoğunluğu bakımından zengin olduğu ve bunun da arıcılık sektörü için önemli bir potansiyel sayılabileceği söylenebilir. Bu çalışmadan elde edilen veriler ile ileride yapılacak ekolojik, sistematik ve flora ile ilgili araştırmalara kaynak oluşturacak temel veriler elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu araştırma Bingöl Üniversitesi Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşması Programı kapsamında (Proje no: PİKOM-Bitki.2018.003) desteklenmiştir.

ıkar atışması

Yazarlar çıkar atışması bildirmemişlerdir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Alataş M., Batan N., Erata H., Özen Ö.. Bingöl ili merkez ilçesinin (Türkiye) karayosunu florası. *Anatolian Bryology* 2020; 6(1): 55-63.
- BDR (Bingöl evre Durum Raporu). Bingöl ED ve evre Hizmetleri şube Müdürlüğü. Bingöl. 2017
- Behçet L., Yapar Y. apakur Vadisi (Bingöl) buğdaygil (Poaceae) florası. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 2021; 24(3): 539-553.
- Cengiz H. Göynük nahiyesi (Karlıova-Bingöl) ve çevresinin florası. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bingöl, 2016.
- Davis PH. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. 1-9, Edinburgh University Press. 1965-1988.
- Demirel NG., Kılıç Ö., Yıldırım Ş. Kuruca köyü (Bingöl) ile Bingöl arasındaki sahanın florası. *The Herb Journal of Systematic Botany* 2021; 27(1): 191-233.
- Demirpolat A., Yıldırım Ş., Kılıç Ö. Sancak Beldesi (Bingöl-Merkez) ve yakın çevresinin florası. *The Herb Journal of Systematic Botany* 2021; 28(1-2): 157-192.

- Emberger L. Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géo-zoologique, Faculté des sciences 1955; 7: 3-43.
- Engin A. Bingöl dağı ve çevresindeki ilçelerin (Hınıs, Tekman, Çat, Varto, Karlıova) bitkilerinin floristik araştırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı Doçentlik Tezi, Samsun, 1990.
- Erinç S. Türkiye’de toprak çalışmaları ve Türkiye toprak coğrafyasının ana çizgiler. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi 1965; 8(15): 35-36.
- Gausson H. Determination des climats par la methode des courbes ambrothermiques. Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L Academie Des Sciences 1955.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (edlr.). Türkiye bitkileri listesi damarlı bitkiler. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmalı Derneği Yayını, Flora Dizisi 1, İstanbul. 2012.
- IUCN. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. 2016.
- Kılıç Ö., Yıldırım Ş. Dikme (Kür) (Bingöl merkez) ve çevresinin florası. Ot Sistematik Botanik Dergisi 2014; 21(1): 69-125.
- Kılıç Ö., Yıldırım Ş., Kıranşan K. Yüzenadalar (Bingöl) çevresinin florası. The Herb Journal of Botany 2017; 24(2): 117-155.
- Sinan A., Behçet L. Altıkardeş dağı (Genç-Bingöl) ve çevresinin florası. Biological Diversity and Conservation 2014; 7(3): 98-116.
- Tonbul S. Bingöl ovası ve çevresinin jeomorfolojisi ve gelişimi. Atatürk D.T.Coğ.Y.K. Coğrafya Araştırmaları, 2, Ankara. 1990.
- Yapar Y., Behçet L. Hiro yaylası (Adaklı-Bingöl) ve çevresinin florası. Biological Diversity and Conservation 2018; 11(3): 126-140.
- Yıldırım S., Kılıç Ö., Demirpolat A. A new unexpected species of *Fritillaria gencensis* (Liliaceae) from Genç, Bingöl, Turkey. Ot Sistematik Botanik Dergisi 2019; 26(1): 1-11.

Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi

Ahmet ERİŞMİŞ¹, Nesrin ADIGÜZEL^{2*}

^{1,2} Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25100, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-6203-464X>

²<https://orcid.org/0000-0001-7610-2757>

*Sorumlu yazar: nesrin.adiguzel@atauni.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 31.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kojenerasyon
Ekonomik analiz
Üniversite yerleşkesi

ÖZ

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanması için kullanılan fosil yakıtların tükenme durumu, çevreye verdiği kirlilik, küresel ısınma gibi durumlar insanlığın alternatif enerji kaynaklarına olan ilgisini arttırmıştır. Bu bağlamda kojenerasyon sistemleri son dönemde değer kazanmış ve uygulama alanları bulmuştur. Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi'ne ait doğalgaz ve elektrik tüketim değerleri incelenmiştir ve bu değerlere ait grafikler oluşturulmuştur. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi için kurulması düşünülen kojenerasyon sisteminin ekonomik analizi yapılmıştır. Atatürk Üniversitesi kampüsünün yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının 31,352,552 kW olduğu görülmüştür. Yıllık 12,282,914 m³ doğalgaz harcamasına denk gelen eş değer enerji tüketimi 117,621,184 kW olarak hesaplanmıştır. Kampüs için düşünülen kojenerasyon sistemiyle yıllık 28,800,000 kW elektrik üretilebilecektir. Ancak elde edilen sonuçlara göre Atatürk Üniversitesi kampüsünün ihtiyaç duyduğu ısı enerjisinin yalnızca bir kısmı (%18.6) bu sistem tarafından karşılanabilecektir.

Economic Analysis of Cogeneration System for Ataturk University Campus

Research Article

Article History:

Received: 22.04.2022

Accepted: 31.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Cogeneration
Economic analysis
University campus

ABSTRACT

The increasing energy needs around the world and the depletion of fossil fuels used to meet this need, pollution to the environment, global warming have increased humanity's interest in alternative energy sources. In this context, cogeneration systems have gained value recently and found applications. In this study, natural gas and electricity consumption values of Ataturk University were examined and graphs of these values were created. Economic analysis of the cogeneration system intended to be established for Ataturk University Campus was carried out. Ataturk University campus's annual electricity needs were 31,352,552 kW. Equivalent energy consumption was calculated as 117,621,184 kW, equivalent to annual gas expenditures of 12,282,914 m³. 28,800,000 kW of electricity can be generated annually with the cogeneration system considered for the campus. However, according to the results obtained, only a fraction (18.6%) of the thermal energy needed by Ataturk University campus will be covered by this system.

To Cite: Erişmiş A., Adıgüzel N. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi İçin Kojenerasyon Sisteminin Ekonomik Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 310-329.

1. Giriş

Dünya nüfusunun hızla artmasına bağlı olarak nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için sanayileşme de hızlı şekilde artmaktadır. Sanayileşmenin artması fosil yakıtlarının tüketimini de arttırmaktadır. Fosil yakıtların tüketiminin artması ile baca gazları (SO₂, NO(x) vb.) çevresel kirliliğe ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Fosil yakıtların yakılması ile ortaya çıkan yanma ürünlerinin sera etkisi yaparak buzulların erimesine, okyanusların yükselmesine ve istenmeyen iklim değişikliğine neden olduğu bilinen bir gerçektir. Dünyanın geldiği son durum işletmeleri enerji yönetimi konusunda yeni arayışlara itmiştir. Doğalgaz veya biyogaz gibi yakıtlarla çalışan kojenerasyon sistemleri işletmeler için daha uygun fiyata elektrik üretmesinin yanında aynı anda atık ısı kazanımı ile işletmelerin ısı ihtiyacını da karşılamaktadır (Kabacan, 2019).

Bir çalışmada, elektrik ve ısı üretimini sağlamak için yeni bir kojenerasyon hibrit çevrimi tanıtılmıştır. Bu sistem gaz döngüsü, buhar döngüsü, karbon yakalama sistemi, proton değişim membranı, elektrolizör, kriyojenik hava ayırma ünitesi ve amonyak sentez reaktörlerini içermektedir. Önerilen bu sistemin enerji, ekonomik, ekserji ve çevresel analizleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, bu sistemin yılda 689 GWh elektrik enerjisi ürettiğini göstermiştir. Bu hibrit sistemlerin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %31,8 ve %53.3'e eşittir. Net bugünkü değer, geri ödeme süresi ve basit geri ödeme süresi ve iç verim oranı ekonomik yöntemleri ile hesaplamalar yapılmıştır. (Abbaspour, 2021).

Başka bir çalışmada, İstanbul'da bulunan Aktürk Yapı Kompleksi için kojenerasyon sistemi kullanımının uygunluğu, elektrik ve ısı tüketim verileri kullanılarak beş farklı kojenerasyon sistem kapasitesi (800, 1200, 1400, 2000 ve 2600 kW) dikkate alınarak araştırılmıştır. Kojenerasyon sisteminin yatırımın geri dönüş süresi, net tasarruf miktarı, talebi karşılama oranı ve kısmi yük verimliliği verileri kullanılarak farklı kapasiteler karşılaştırılmıştır. Farklı kapasiteler için yapılan yatırımın geri ödeme süreleri birbirine yakın olmakla birlikte, 1200 kW kapasiteli kojenerasyon sisteminin, en kısa geri ödeme süresine (1 yıl 5 ay) sahip olması nedeniyle Aktürk Yapı Kompleksi için uygun olduğu kanıtlanmıştır (Adıgüzel, 2015).

Bir fabrika binasında duvar ve yer karosu seramik üretim tesisinin doğal gaz yakıtlı kojenerasyon sisteminin termoeconomik ve çevresel değerlendirmelerinin sunulduğu bir diğer çalışmada ortam sıcaklıkları 10°C, 15°C, 20°C, 25°C ve 30°C olarak kabul edilmiştir. Termoeconomik değerler yer karosu kurutucu için 2.766,132 kWh/\$, duvar karosu kurutucu için 2.479,726 kWh/\$, yanma odası için 1.595,575 kWh/\$, kojenerasyon için 543,212 kWh/\$ olarak bulunmuştur. Yanma odası için 30°C ortam sıcaklığında maksimum toplam ekonomik parametre 11331,659 kWh/\$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca çevre ve çevre ekonomik parametreleri duvar karosu kurutucusu için 27.580,74 kg-CO₂/gün ve 399,92 \$/gün, yer karosu kurutucusu için sırasıyla 41.900,32 kg-CO₂/gün ve 607,55 \$/gün olarak belirlenmiştir (Caglayan ve Caliskan, 2019).

Bir diğer çalışmada elde edilen jeotermal enerjiyi biyokütle tesisinin buhar döngüsüne besleyen, biyokütle yakıtlı bir kojenerasyon tesisi ile entegre yeni bir jeotermal güç sistemi geliştirilmiştir. Jeotermal su, türbinin ekstraksiyon buharıyla birlikte bölgesel ısıtma için besleme suyuna ısı

sağlarken, biyokütle tesisinin besleme suyunu ısıtmak için jeotermal su kullanılmıştır. 35 MW'lık bir biyokütle kojenerasyon tesisine dayalı olarak, önerilen sistemin termodinamik ve ekonomik performansı değerlendirilmiş ve ana parametrelerin etkileri de araştırılmıştır. Sonuçlar, jeotermal enerji üretim verimliliğinin kojenerasyon modu veya güç üretim modu altında %25,47 veya %5,62'ye ulaşabileceğini göstermiştir. Jeotermal enerjiden, yıllık %17,08 jeotermal enerji üretim verimliliği ile 16.935,48 MWh elektrik üretilebilmiştir. Jeotermal enerjiye dayalı elektriğin seviyelendirilmiş maliyeti, yeni tasarımı benimserken sadece 0,0329 \$/kWh olarak bulunmuştur. (Chen, 2022).

Yapılan bir çalışmada, 30 MW güç üretim kapasiteli bir gaz türbini çevrimi, bir buhar jeneratörü, bir anaerobik çürütücü ve ön arıtma sisteminin ısıtılması için bir ısı eşanjöründen oluşan bir kojenerasyon sistemi uygulanmıştır. Birinci ve ikinci yasa verimlerinin üç amaç fonksiyonunu ve sistemin toplam özgül maliyetini göz önünde bulundurarak, bir ısı ve güç çevriminin (CHP) termodinamik ve eksergo-ekonomik değerlendirmesi amaçlanmıştır. Tüm karışım oranlarında yanma odasının tersinmezliği en yüksek değer olarak bulunmuştur. Çevrimin ekserji verimliliği, saf biyogaz durumunda %46,94'ten saf doğal gaz durumunda %50.64'e yükseltilmiştir. Ayrıca, sistemin toplam maliyeti, saf doğal gaz durumunda 66,7 \$/MWh'den saf biyogaz durumunda 98,71 \$/MWh'ye yükseltilmiştir (Darabadi, 2018).

Başka bir araştırmada, enerji santrallerinden rafine edilmemiş biyogaz ve egzoz dumanları ile biyometan (bioCH₄) ve sıvı karbondioksit (CO₂) kojenerasyonu için yenilikçi bir entegre yapı geliştirilmiştir. Kriyojenik biyogaz yükseltme işlemi ve CO₂ yakalama döngüsü, sırasıyla rafine edilmemiş biyogazın ve enerji santrallerinden çıkan egzoz dumanlarının arıtılması için kullanılmıştır. Mevcut entegre proses, jeotermal enerjiden 2,368 kg/s arıtılmamış biyogaz, 21,32 kg/s baca gazı ve 7922 kW ısı akışı olarak 0,8434 kg/s bioCH₄ ve 2,631 kg/s sıvı CO₂ üretmiştir. Hibrit sistemin termal ve toplam ekserji verimleri sırasıyla %59,94 ve %73.10 olarak elde edilmiştir. Ekserji analizi, toplam sistem tahribatının %39,12'si ile ısı eşanjörleri (4043 kw) ve distilasyon kolonlarının (1857 kw) ekipmanlar arasında en fazla ekserji tahribatına sahip olduğunu göstermiştir. Ekonomik değerlendirme, ürünün iade süresinin ve ana maliyetinin sırasıyla 4,45 yıl ve 0.8189 ABD \$/m³ biyometan'a eşit olduğunu göstermektedir. (Ebrahimi, 2022).

Güneş destekli yanma sonrası karbon yakalamanın deneysel bir kojenerasyon sistemine entegrasyonunu değerlendiren bir çalışmada Ulusal Elektrik ve Temiz Enerjiler Enstitüsü'nde (INEEL) bir termal yağ geri kazanım sistemi ile birleştirilmiş 200 kW Capstone mikrotürbini içeren Thermoflex 25®'te modellenen bir kojenerasyon sistemi kurulmuştur. Ekonomik analiz için üç optimize edilmiş sistem göz önünde bulundurulmuştur: bir mikrotürbin kojenerasyon sistemi (COGEN), yanma sonrası karbon yakalama tesisi (COGEN-CCS) ile bir mikro türbin kojenerasyon sistemi ve güneş destekli yanma sonrası karbon yakalama ile bir mikro türbin kojenerasyon sistemi (COGEN-CCS + GÜNEŞ). Sonuçlar, CCS'nin uygulanmasının, sürece enerji sağlama olasılığı olmadan ve sıfıra yakın emisyonla maliyette yaklaşık %86 gibi önemli bir artışa yol açtığını göstermiştir. Ayrıca COGEN-CCS + SOLAR, genel sistem performansını iyileştirmiştir. Kilovat başına CO₂ emisyonları COGEN-CCS'ye

göre %0,2 artarken, LCOE COGEN durumuna kıyasla sifıra yakın emisyonla %230 artmıştır (Jordan, 2019).

Mikro kojenerasyon sistemleri ile LNG soğuk kullanımı üzerine az sayıda çalışma yapılırken, birçok çalışma büyük ölçekli enerji üretim sistemleri ile ilgilidir. Bir diğer çalışmada LNG pompası, bir LNG buharlaştırıcı, bir yanma odası, bir geri kazanıcı, bir kompresör, bir gaz türbini ve bir ısı eşanjörü içeren kombine bir LNG soğuk kullanılan mikro kojenerasyon sistemi önerilmiştir. Çeşitli ortam hava sıcaklıklarına göre ekonomik, enerjik ve çevresel analizler yapılmış ve sonuçlar geleneksel mikro kojenerasyon sisteminin genel performansı ile karşılaştırılmıştır. Üretilen elektrik hızı ve termal verim, incelenen her iki çevrim için de aynı bulunmuştur. Ancak geri ödeme süresi, geleneksel döngüden yaklaşık %6 daha yüksektir. Ortalama çevresel geri ödeme süresi yaklaşık 4.8 yıl olarak bulunmuştur (Kanbur, 2017).

Başka bir çalışmada, yerli bir dizel elektrik jeneratörü tabanlı yeni termoelektrik kojenerasyon sistemi %20 oranında biyodizel yakıt karışımı ile incelenmiştir. Motorun egzozu, suyu ısıtmak ve termoelektrik jeneratörler kullanarak elektrik üretmek için egzoz borusunun dikdörtgen konfigürasyon geometrisine sahip ısı kaynağı olarak kabul edilmiştir. Termoelektrik jeneratörler için farklı konumlarda beş durum için bir termal direnç modeli geliştirilmiştir. Karşılaştırmalı çalışma, TEG'lerin ısı kaynağına yakın dikdörtgen egzoz konfigürasyonunun iç duvarına monte edildiği maksimum 35 W gücün elde edildiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, TEG tabanlı kojenerasyon sistemlerinin dikkate alınan tüm konfigürasyonları için kojenerasyon sistemini çalıştırarak geri ödeme süresi ve maliyet tasarrufu değerlendirmesi yapılmıştır. Teorik analiz, ele alınan tüm durumlardan, ısı kaynağına yakın olan durumun, TEG'lerin, yeterli su sıcaklığında güç ve ilk maliyet arasında en iyi dengeyi sağladığını ortaya çıkarmıştır (Karana, 2020).

Bir diğer çalışmada, bir Organik Rankine Çevrimi (ORC) ve bir buharın ortak çalışmasına dayalı olarak, ısı ve güç üretimi ve soğutmayı birleştirebilen mikro ölçekli bir tri/kojenerasyon sisteminin termodinamik modellemesi ve ekonomik analizi amaçlanmıştır. Trijenerasyon modunda (yaz işletimi), ORC genişletici tarafından üretilen gücün bir kısmı VCC kompresörü tarafından tüketilirken, herhangi bir fazla güç elektriğe dönüştürülmüştür. Sistemin kondenserinde üretilen ısı, sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır. Sistemin performansı, organik ortam R245fa için kritik altı çalışma basınçları için değerlendirilmiştir. Toplam 50 kWth ısı girdisi ve 5kWth soğutma yükü (yaz aylarında) varsayan bir temel durum senaryosunda (kızgınlık olmadan 90 °C'de buharlaşma sıcaklığı), net elektrik verimliliği 1.42 kWe'ye eşit bir elektrik çıkışı ile %2,38 olarak hesaplanmıştır. ORC'nin ekserji verimliliği yaklaşık %7 olarak tahmin edilmiştir. Akaryakıt ve elektrik tüketimindeki tasarruflar, 7 yıllık geri ödeme süresi ile yaklaşık %12'lik bir IRR'ye karşılık gelmiştir (Karellas, 2016).

Sistem tarafından üretilen ısının makul bir şekilde tahsisi, sistemin performansını iyileştirebilir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, güneş yardımcı ısı ile birleştirilmiş gelişmiş adyabatik sıkıştırılmış hava enerji depolamasına dayalı bir kojenerasyon sistemi modeli önerilmiş ve beş ısı dağılımı şeması

oluşturulmuştur. Termodinamik ve ekonomik açıdan, beş ısı dağıtım şemasının (%100, %75, %50, %25, %0) performansı analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Üç tip ısı eşanjörünün etkinliğinin, yoğun olmayan elektrik ve ürün fiyatlarının sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, ısı dağılım oranı ne kadar küçükse, ekserji verimi ve net bugünkü değerin o kadar büyük olduğunu göstermiştir. Pik elektrik ve sıcak su fiyatlarındaki artış ve düşük tepe elektrik fiyatındaki düşüş ile net bugünkü değer artar. Optimal koşullar altında, enerji depolama yoğunluklarının aralıkları ve beş ısı dağıtım şemasının net mevcut değerleri sırasıyla 15,109~17,466 MJ•m⁻³ ve 13.992 × 10⁷~22.616 × 10⁷ \$ olarak bulunmuştur (Li, 2021).

Bir diğer çalışmada, kömürle çalışan bir kojenerasyon tesisinin yeni bir konfigürasyonu önerilmiştir. Bu yeni sistem, yanma odası, Rankine çevrimi, absorpsiyonlu soğutucu, alkalın elektrolizör ve metanasyon tesisinden oluşmuştur. Önerilen konfigürasyonda, yanma odasından çıkan egzoz gazının ısısı, elektrik üretmek için bir Rankine çevriminde kullanılmıştır. Elektrik enerjisi sağlamak için Rankine çevriminin yanı sıra rüzgar türbinleri de düşünülmüştür. Hem Rankine çevriminden hem de rüzgar türbinlerinden üretilen elektriğin bir kısmı, hidrojen ve oksijen üretmek için bir alkalın elektrolizör tarafından kullanılmıştır. Elektrolizörden gelen oksijen, yanma sürecini iyileştirmek için yanma odasına enjekte edilmiştir. Sonuçlar, elektrik üretmek için 80 adet 1 MW Kuzey rüzgar türbini kullanılarak, egzoz gazındaki tüm CO₂'in sentez gazına dönüştürüldüğünü göstermiştir. Tüm sistem enerji ve ekserji verimleri %16,6 ve %16,2'ye eşit olarak bulunmuştur. %85 ve %30,1 ile en yüksek ve en düşük enerji verimliliği kompresör ve buhar santralleri ile ilgilidir. Rüzgar türbininin enerji ve ekserji verimleri %30,7 ve %11,9 olarak bulunmuştur. Sistem 40.920,4 MWh elektrik ve 180,5 MWh soğutma üretmiştir. Sentez gazı üretmek için CO₂ tüketildiğinden, önerilen sistem yılda 1009,4 ton sentez gazı üretirken önemli miktarda 2776 t CO₂ emisyonunu önleyebilmiştir. Ekonomik analize dayalı olarak, sistemin geri ödeme süresi 11,2 yıl ve iç verim oranı %10 olarak bulunmuştur (Li, 2020).

Başka bir çalışmada, çalışma sıvısı olarak amonyak-su çözeltisini kullanan yeni bir paralel kombine soğutma ve güç (CCP) sistemi önerilmiş ve araştırılmıştır. Bu sistemin en büyük avantajı, çift seviyeli soğutma sıcaklıkları ve kapasitelerinde soğutma üretmek için iki evaporatör kullanılmasıdır. Yüksek sıcaklıkta soğutma çıkışı üretmek için, bir ejektörlü soğutma döngüsü tanıtılmıştır. Ejektör performansının tahmin edilmesi için şok çemberi modeline dayalı yeni bir model önerilmiştir. Anahtar parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkisini bulmak için sistem termo-ekonomik olarak analiz edilmiştir. Parametrik çalışma sonuçları, yüksek sıcaklıktaki soğutma yükünün hem termodinamik hem de ekonomik performans üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, parametrik bir optimizasyon gerçekleştirilmiş ve optimize edilen sistem literatürdeki birkaç amonyak-su CCP sistemi ile karşılaştırılmıştır. Bu durumda, %68,8'lik optimal enerji verimliliği, %37'lik ekserji verimliliği ve 8.77'lik soğutma-güç oranı tahmin edilmiştir. Ekonomik analizden, optimal net bugünkü değer ve basit geri ödeme süresi sırasıyla 49.2 M\$ ve 4,8 yıl ile elde edilmiştir (Mosaffa, 2021).

Yapılan bir çalışmada, yeni bir trijenerasyon sistemine tersinir absorpsiyonlu ısı pompası ve içten yanmalı motorun entegrasyonu önerilmiştir. Su-amonyak karışımı kullanan tersinir absorpsiyonlu ısı pompası, motorun egzoz gazı tarafından çalıştırılmış ve dönüşümlü olarak ısıtma ve soğutma üretebilmiştir. Önerilen trijenerasyon sistemi sunulmuş ve ısıtma ve soğutma işletim modları altında verilen enerji hizmetleri değerlendirilmiştir. Önerilen sistemin ekonomik uygulanabilirliğini değerlendirmek için seviyelendirilmiş bir enerji maliyeti analizi yapılmıştır. İkinci yasa analizi yapılarak genel ekserji verimliliği geleneksel sistemlerinkiyle karşılaştırılmıştır. Son olarak, yeni trijenerasyon sistemi bir örnek olay incelemesinde, yani İtalya'nın Pisa kentinde bulunan büyük bir ofis binasında uygulanmıştır. Bulgular, tersinir absorpsiyonlu ısı pompası ve kojenerasyon ünitesini entegre eden sistemin değerli ekonomik ve enerji performansı sağladığını göstermiştir. Sistemin ekserji verimliliği %43'e ulaşabilmiş ve geleneksel kojenerasyon ve ayrı üretim sistemine kıyasla sırasıyla %5 ve %10 civarında maliyet tasarrufu sağlanmıştır (Urbanucci, 2019).

Son yıllarda Danimarka, yenilenebilir enerji ve ulaşımın elektrifikasyonuna yapılan yatırımları artırmıştır. Danimarka Gündemi, 2050 yılına kadar tüm birincil enerji tüketiminin rüzgar, biyokütle ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar tarafından karşılanacağını öne sürmüştür. Bu değişiklikler, önemli yatırımları ve tüm enerji altyapılarının ve tüketim türlerinin yeniden düşünülmesini gerektirmektedir. Buna binaen yapılan bir araştırmada, elektrikli bir arabanın şarj edilmesi ile ev uygulamaları için yenilikçi bir kojenerasyon sistemi (entegre ısıtma sistemli mikro katı oksit yakıt hücresi) arasındaki etkileşimler araştırılmıştır. Elektrikli arabanın kojeneratör tarafından şarj edilmesi, evin ısı talebini kısmen karşılamak için kullanılacak atık ısı üretmiştir. Bu şekilde, genel verimliliği artırmak ve toplam enerji maliyetlerini azaltmak mümkün olabilmiştir. Elektrikli bir arabayı şarj etmek ve mevcut atık ısıyı verimli bir şekilde kullanmak için farklı yenilikçi stratejiler önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sistemi şebekeden bağımsız hale getirmek, SOFC'lerin termal stresini azaltmak ve entegre bir ısıtma sisteminin nominal gücünü belirlemektir. Sonuçlar, sübvansiyonlar dahil edilmese bile, sistemin enerji verimliliğini ve ekonomik karlılığını göstermiştir (Violetto, 2017).

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi yerleşkesine yeni bir kojenerasyon santrali kurulduğunda elektrik ve ısı ihtiyacının ne kadar karşılandığına bakılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre sistemin avantajlı olup olmadığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kojenerasyon sisteminin, Atatürk Üniversitesi kampüsünde bulunan ısı merkezi ile ısıtılan binalar için uygulanması halinde yatırım maliyetinin ekonomik açıdan analizi yapılmıştır. Yapılacak analiz için ısı merkezinin 2019 yılı doğalgaz tüketim değerleri ve söz konusu binaların 2019 yılı elektrik tüketim değerleri incelenmiştir. Tablo 1'de Atatürk Üniversitesi yerleşkesi için 2019 yılına ait doğalgaz ve elektrik tüketim miktarları verilmiştir.

Tablo 1. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları

| AYLAR | AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM MİKTARI (m ³) | AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM MİKTARI (kWh) |
|---------------|--|--------------------------------------|
| OCAK | 2,105,727 | 2,958,720 |
| ŞUBAT | 1,911,412 | 2,855,919 |
| MART | 1,837,475 | 2,503,862 |
| NİSAN | 1,463,442 | 2,790,044 |
| MAYIS | 707,074 | 2,658,744 |
| HAZİRAN | 180,861 | 2,490,299 |
| TEMMUZ | 71,894 | 2,418,332 |
| AĞUSTOS | 0 | 2,529,892 |
| EYLÜL | 119,281 | 2,386,870 |
| EKİM | 791,208 | 2,306,858 |
| KASIM | 1,292,764 | 2,707,339 |
| ARALIK | 1,801,776 | 2,745,673 |
| TOPLAM | 12,282,914 m³ | 31,352,552 kWh |

Tablo 2’de Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde kullanılan doğalgaz miktarı için ve Atatürk Üniversitesi’nin elektrik tüketimi için ödediği ücretler aylık olarak verilmiştir.

Tablo 2. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketimleri için Ödenen Ücretler

| AYLAR | AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİM ÜCRETİ TL | AYLIK ELEKTRİK TÜKETİM ÜCRETİ TL |
|---------|----------------------------------|----------------------------------|
| OCAK | 3,567,166 | 2,008,500 |
| ŞUBAT | 3,226,422 | 1,656,166 |
| MART | 3,138,857 | 1,516,636 |
| NİSAN | 2,472,852 | 1,772,100 |
| MAYIS | 1,207,461 | 1,683,089 |
| HAZİRAN | 308,655 | 1,649,675 |
| TEMMUZ | 121,702 | 1,549,002 |
| AĞUSTOS | 0 | 1,773,346 |
| EYLÜL | 229,936 | 1,614,646 |
| EKİM | 1,528,068 | 1,580,535 |

| | | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|
| KASIM | 2,499,613 | 1,854,923 |
| ARALIK | 3,482,305 | 1,881,187 |
| TOPLAM | 21,783,037 TL | 20,539,805 TL |

Tablo 3'te elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri kW/ay olarak verilmiştir. Bu değerlerden biri olan doğalgaz tüketim değeri Atatürk Üniversitesi ısı merkezinde bulunan yetkililerden, elektrik tüketimi değerleri ise Atatürk Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığından alınmıştır.

Ocak ayı doğalgaz yakıt tüketim değeri m³/ay: 2,133,508

Ocak ayı doğalgaz enerji tüketim değeri kW/ay: 20,430,472

Bu hesap tüm aylar için yapılmış ve tabloya eklenmiştir.

Tablo 3. 2019 Yılı Elektrik ve Doğalgaz Tüketim Miktarları

| AYLAR | AYLIK ELEKTRİK TÜKETİMİ kWh /ay | AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ m ³ /ay | AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ kWh /ay |
|---------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| OCAK | 2,958,720 | 2,105,727 | 20,164,441 |
| ŞUBAT | 2,855,919 | 1,911,412 | 18,303,681 |
| MART | 2,503,862 | 1,837,475 | 17,595,660 |
| NİSAN | 2,790,044 | 1,463,442 | 14,013,920 |
| MAYIS | 2,658,744 | 707,074 | 6,770,940 |
| HAZİRAN | 2,490,299 | 180,861 | 1,731,924 |
| TEMMUZ | 2,418,332 | 71,894 | 688,456 |
| AĞUSTOS | 2,529,892 | 0 | 0 |
| EYLÜL | 2,386,870 | 119,281 | 1,142,234 |
| EKİM | 2,306,858 | 791,208 | 7,576,607 |
| KASIM | 2,707,339 | 1,292,764 | 12,379,508 |
| ARALIK | 2,745,673 | 1,801,776 | 17,253,806 |
| Toplam | 31,352,552 | 12,282,914 | 117,621,184 |

Kojenerasyon sisteminin seçiminde kWh birimi kullanılacağından tüketim değerleri kWh cinsinden hesaplanmıştır. 1 m³ doğalgazın enerji değeri yaklaşık 10.64 kWh'tır [11]. Yakıt verimi %90 alınmıştır.

Tahrik ünitesinin belirlenmesinde; enerji ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanmasının yanı sıra ilk yatırım maliyetinin de mümkün olan en kısa sürede karşılanması önemlidir. Ayrıca müşteri talepleri ve enerji çeşidi gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

Atatürk Üniversitesi ısı merkezinden alınan doğalgaz faturaları ve yapı işleri daire başkanlığından alınan elektrik faturalarından elektrik tüketim maliyetinin doğalgaz tüketim maliyetinden fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin devreye alınması ve devreden çıkarılması kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Aksi halde ek maliyetler doğacak ve yatırımın geri ödeme süresi artacaktır.

Bu bilgiler ışığında tesis için hali hazırda kampüs içinde bulunan doğalgazla çalışan içten yanmalı gaz motorlu sistem seçilmiştir.

Tesisin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayacak olan kojenerasyon sistemi, tesisin enerji ihtiyacı ile uyumlu olmalıdır. Doğru seçimin yapılması için;

1. Tesisin ısı enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
2. Tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının en yüksek düzeyde karşılanması,
3. İlk yatırımın maliyetinin en kısa sürede geri dönüşünün olması,
4. Kojenerasyon sisteminin en yüksek düzeyde (kapasitesine en yakın) çalışması.
5. Yaz ve kış aylarında enerji tüketimindeki değişimler de dikkate alınmalıdır.

Kojenerasyon sisteminin tahrik gücünü belirlemek için, enerji tüketim değeri en yüksek kış ayı olan ocak ayı ile enerji tüketim değeri en yüksek olan yaz ayı haziran ayları referans aylar olarak alınmıştır. Kojenerasyon sistemindeki enerji üretiminin, referans aylardaki enerji tüketimini karşılama oranı dikkate alınmıştır.

Tesisin aylık elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri ilgili birimlerden alınarak tablo haline getirilmiştir (Tablo 3). Bu tabloda Atatürk Üniversitesi kampüsünün kış aylarında elektrik tüketiminin biraz daha fazla olduğu görülmüştür. Kış aylarında daha fazla olmasının nedeni öğrenci sayısının fazla olmasına, ısı merkezindeki kazanların sürekli çalışmasına ve kışın havanın erken kararmasına bağlanmıştır.

Tablo 4'te ve tablo 5'te referans aylardaki (referans aylar olarak kış aylarından ocak, yaz aylarından haziran seçilmiştir) tüketim değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Ocak ayı tüketim değerleri

| Doğalgaz tüketimi (kWh) | Doğalgaz tüketimi (m ³) | Doğalgaz tüketimi (TL) | Elektrik tüketimi (kWh) | Elektrik tüketimi (TL) | TOPLAM TÜKETİM (TL) |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 20,164,441 | 2,105,727 | 3,567,166 | 2,958,720 | 2,008,500 | 5,575,666 |

Tablo 5. Haziran ayı tüketim değerleri

| Doğalgaz tüketimi (kWh) | Doğalgaz tüketimi (m ³) | Doğalgaz tüketimi (TL) | Elektrik tüketimi (kWh) | Elektrik tüketimi (TL) | TOPLAM TÜKETİM (TL) |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 1,731,924 | 180,861 | 308,655 | 2,490,299 | 1,649,675 | 1,958,330 |

Seçilen motorun özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. MWM Marka, TCG-2020-V20 Model Doğalgazlı Motorun Özellikleri

| | | |
|-------------------------------|------------|-------|
| Mekanik gücü | 2056 kW | |
| Elektrik gücü | 2000 kW | |
| Yakıt tüketimi | 4577 kW | (+%5) |
| Egzoz ısısı (120 °C) | 972 kW | (±%8) |
| Egzoz çıkış sıcaklığı | 414 °C | |
| Ceket suyu ısı gücü | 1040 kW | (±%8) |
| Intercooler ısı gücü | 142 kW | (±%8) |
| Elektrik verimi | 43.70 % | |
| Termik verimi | 47.06 % | |
| Toplam verim | 90.76 % | |
| Yıllık ortalama çalışma saati | 8000 saat | |
| Ana bakım zamanı | 64000 saat | |

MWM Marka, TCG-2020-V20 Model doğalgazlı motor için İlteknö firmasından teklif alınmıştır.

Proje Sahası Teslim Fiyatı:1,350,000 – Euro + KDV

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 220,000 – Euro + KDV’dir.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada Atatürk Üniversitesi’nin elektrik ve doğalgaz tüketimlerine göre sistem seçimi yapılmış olup bu değerlere göre kojenerasyon sisteminin kurulmasının ekonomik olarak uygun olup olmadığı incelenmiştir. Tablo 7’de Atatürk Üniversitesi kampüsüne kurulması düşünülen kojenerasyon ünitesinin işletme değerleri verilmiştir. Tablo 8’de çevrim verimlerinin santral kapasitesi yüzdesi, tablo 9’da çevrim verimlerinin enerji tüketimine göre yüzdesi verilmiştir.

Tablo 7. Kampüse Kurulması Düşünülen Kojenerasyon Ünitesinin İşletme Değerleri

| Modül Çalışma Saatleri | Saat/yıl | 8,000 |
|---------------------------------------|----------------------|------------|
| Yakıt Türü | NG | |
| Yakıt Isıl Değeri | kcal/m ³ | 8,250 |
| Yakıt Tüketimi (+%5 tolerans) | kW | 8,330 |
| Yakıt Tüketimi | m ³ /saat | 868 |
| Senelik Yakıt Tüketimi | m ³ /yıl | 6,945,620 |
| Elektrik Üretimi – Brüt (cos phi=1) | kWh | 3,600 |
| İç İhtiyaç ve Dahili Kayıplar | kWh | 90 |
| Elektrik Üretimi - Net | kWh | 3,510 |
| Senelik Elektrik Üretimi (Net) | kWh/yıl | 28,800,000 |
| Yağ Tüketimi | kg/h | 0.54 |
| Egzoz Isı Gücü (±%8 tolerans) | kWh | 1,788 |
| Ceket Isı Gücü (±%8 tolerans) | kWh | 1,872 |
| Ara Soğutucu (±%8 tolerans) | kWh | 261 |
| Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi | kWh | 3,660 |
| İşletme Toplam Isı Tüketimi 75% | kWh | 2,745 |

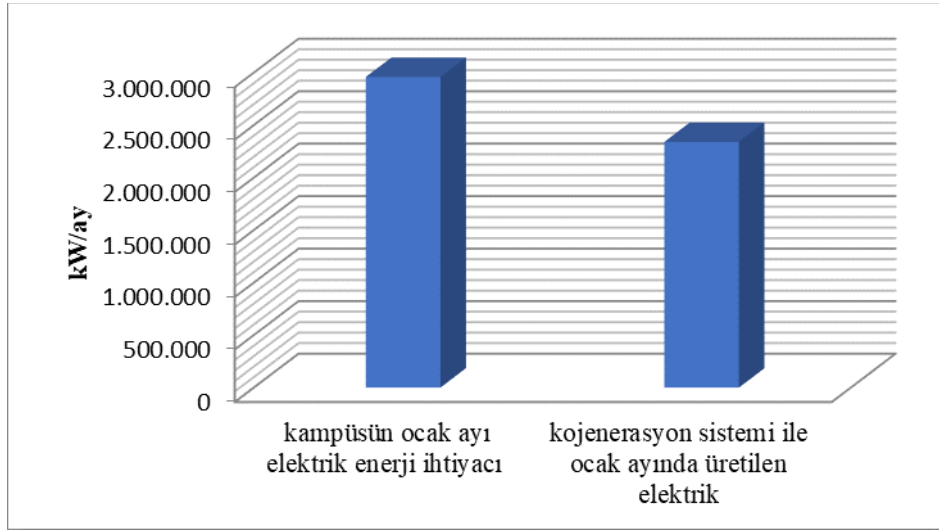
Tablo 8. Çevrim Verimlerinin Santral Kapasitesi Yüzdesi

| | | |
|------------------------|---|--------------|
| Elektrik Verimi | % | 43.22 |
| Isı Verimi | % | 43.94 |
| Toplam Verimi | % | 87.16 |

Tablo 9. Çevrim Verimlerinin Enerji Tüketimine Göre Yüzdesi

| | | |
|----------------------|---|-------|
| Elektrik Verimi- Net | % | 42.14 |
| Isı Verimi | % | 32.96 |
| Toplam Verimi | % | 75.09 |

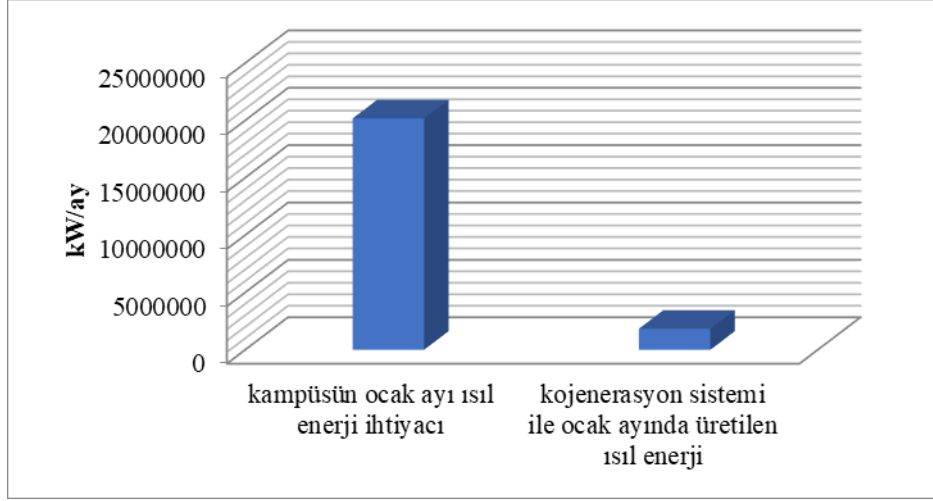
Seçilen kojenerasyon sisteminin ürettiği enerjinin referans aylardaki enerji tüketimini karşılama durumu aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 1. Ocak ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

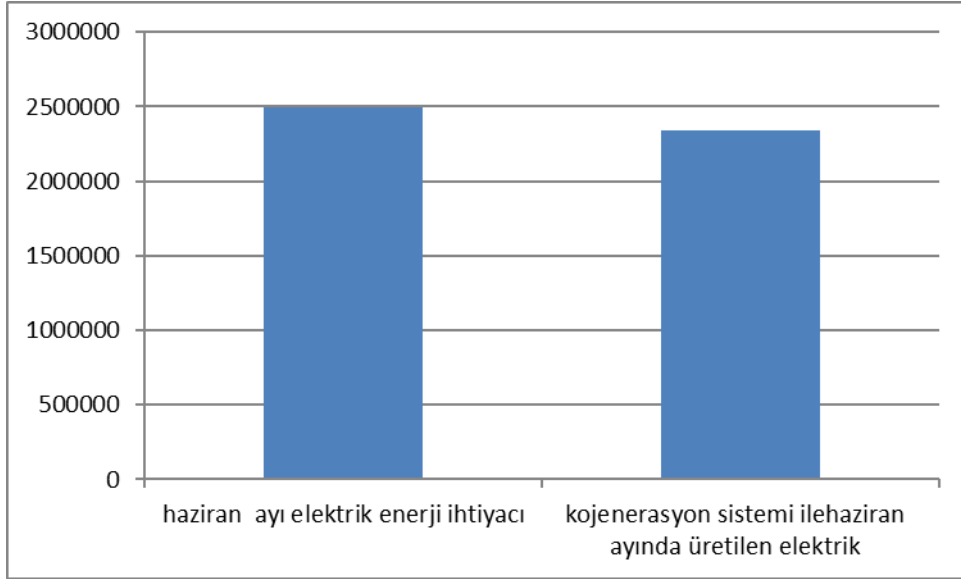
Şekil 1’de görüldüğü üzere ocak ayından kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2,958,720 kWh ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2,340,117 kWh’tir. Yani kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık %79,1’ini üretmektedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi kojenerasyon sistemi ocak ayında gerekli olan ısı enerjisinin yalnızca %9,1’ini karşılayabilmiştir. Geriye kalan ısı enerjisi mevcut kullanılan sistemden karşılanacaktır.



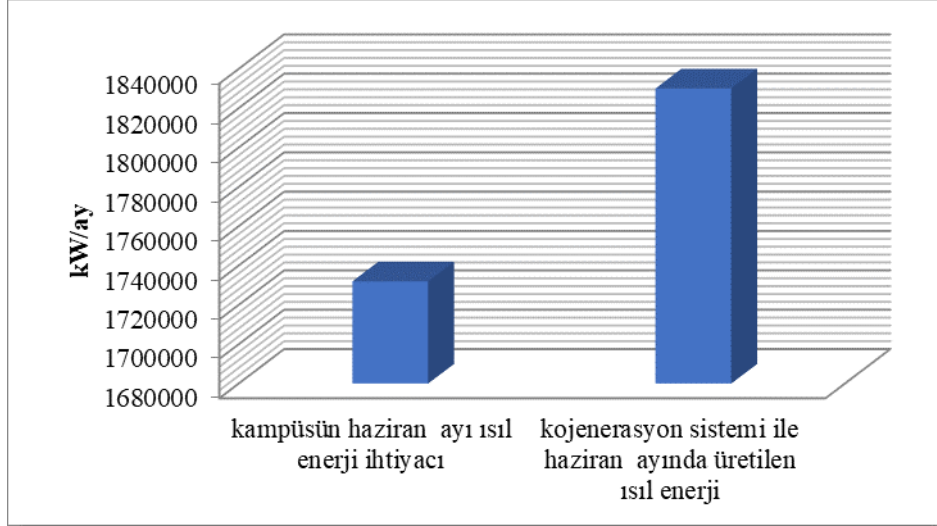
Şekil 2. Ocak ayında tesisin ısıtma enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 3'te görüldüğü gibi haziran ayında kampüsün elektrik enerjisi ihtiyacı yaklaşık 2,490,299 kWh ve kojenerasyon sisteminden üretilen elektrik enerjisi 2,340,117 kWh'tir. Yani kojenerasyon sistemi Haziran ayında gerekli olan elektrik enerjisinin yaklaşık %94'ünü üretmektedir.



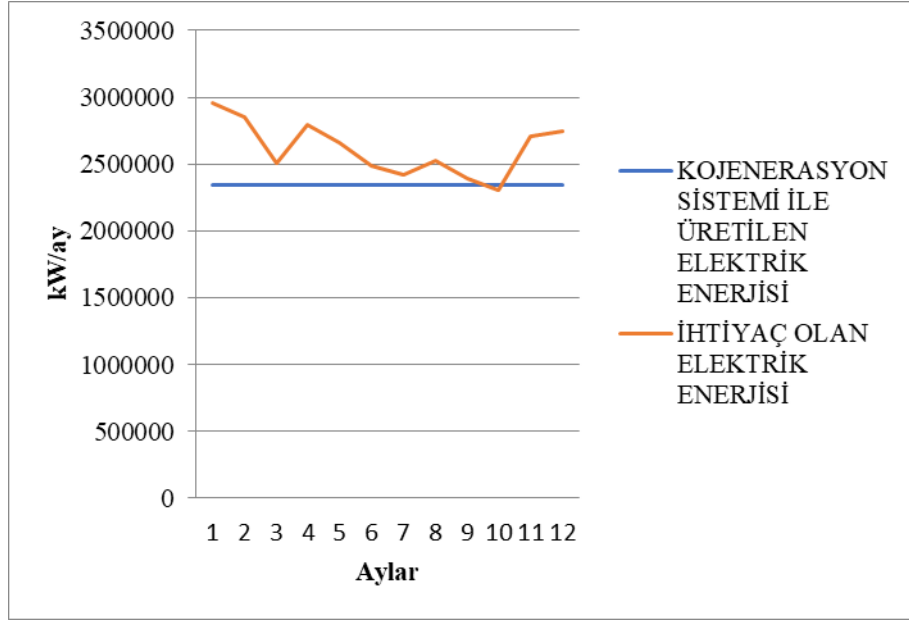
Şekil 3. Haziran ayında tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 4'te kojenerasyon sisteminin haziran ayında ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisinin tamamını karşıladığı görülmektedir.



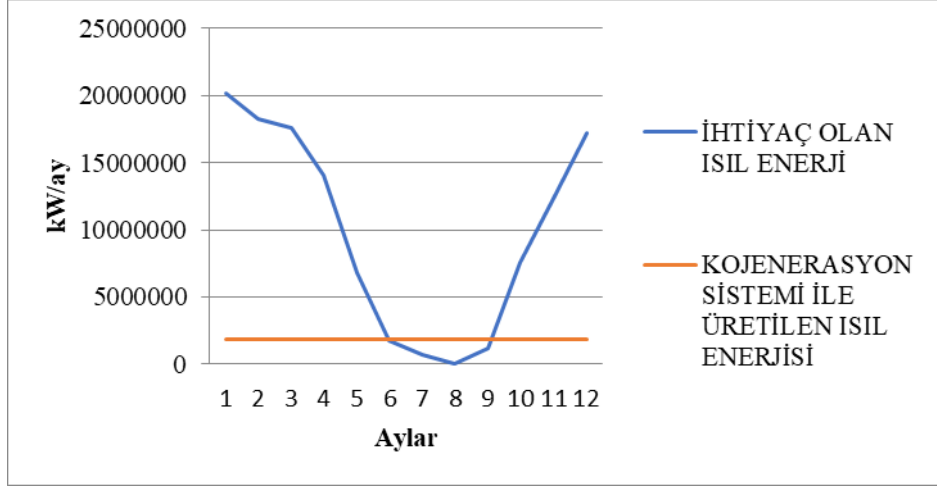
Şekil 4. Haziran ayında tesisin ısı enerjisi ihtiyacının kojenerasyon sistemi ile karşılanması

Şekil 5'te ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin çok büyük bir kısmının (%91.9) kojenerasyon sistemi ile üretileceği görülmektedir.



Şekil 5. Kojenerasyon sistemi ile üretilen elektrik enerjisinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Ancak elde edilen sonuçlara göre şekil 6'da görüldüğü gibi Atatürk Üniversitesi kampüsünün ihtiyaç duyduğu ısı enerjinin yalnızca bir kısmı (%18.6) sistem tarafından karşılanabilecektir.



Şekil 6. Kojenerasyon sistemi ile üretilen ısı enerjinin ihtiyacı karşılama mukayesesi

Kojenerasyon sistemini kurmak için karar vermeden önce ekonomik analiz yapılması gerekmektedir. Bu analizin sonucuna göre karar vermek oldukça önemlidir. Analizde dikkate alınması gereken hususlar;

- Satın alınan elektriğin birim maliyeti,
- Satın alınan yakıtın (doğalgaz) birim maliyeti,
- Yağlama yağı birim maliyeti,
- Bakım giderleri,
- Personel giderleri,
- Tesis sigorta bedeli ve vergiler,
- Kojenerasyon sistemi için yapılacak olan yatırım giderleridir.

Tablo 10'da kojenerasyon sisteminin üreteceği yıllık elektrik enerjisi, ısı enerjisi, doğalgaz tüketimi, yağlama yağı tüketimi değerleri ve alınan elektrik enerjisinin birim fiyatı, doğalgazın birim fiyatı, yağlama yağının birim fiyatı verilmiştir.

Tablo 10. Yıllık Santral İşletme Değerleri

| İşletme Yılları | 1.Yıl | 2.Yıl | 3.Yıl | 4.Yıl | 5.Yıl | 10.Yıl | 15.Yıl |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Net elektrik üretimi kWh/yıl | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 |
| Tüketilen elektrik miktarı kWh/yıl | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 | 28,800,000 |
| Net atık ısı kazanımı kWhth | 29,280,000 | 29,280,000 | 29,280,000 | 29,280,000 | 29,280,000 | 29,280,000 | 29,280,000 |
| Tüketilen ısı enerjisi kWhth (%75) | 21,960,000 | 21,960,000 | 21,960,000 | 21,960,000 | 21,960,000 | 21,960,000 | 21,960,000 |

| | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Doğalgaz tüketimi Nm³ | 6,945,620 | 6,945,620 | 6,945,620 | 6,945,620 | 6,945,620 | 6,945,620 | 6,945,620 |
| Yağlama yağı tüketimi ton | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4.32 |
| Tüketilen elektriğin fiyatı €/kWh | 0,09160 | 0,09160 | 0,09160 | 0,09160 | 0,09160 | 0,09160 | 0,09160 |
| Doğlagazın fiyatı €/1000Nm³ | 257,6 | 257,6 | 257,6 | 257,6 | 257,6 | 257,6 | 257,6 |
| Yağlama yağı fiyatı €/ton | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |

Tablo 11’de kojenerasyon santrali ile birlikte işletmenin gelirleri verilmiştir.

Tablo 11. İşletme Gelirleri

| İşletme yılları | 1.Yıl | 2.Yıl | 3.Yıl | 4.Yıl | 5.Yıl | 10.Yıl | 15.Yıl |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Tüketilen elektrik geliri (€) | 2,572,128 | 2,572,128 | 2,572,128 | 2,572,128 | 2,572,128 | 2,572,128 | 2,572,128 |
| Satılan elektrik geliri (€) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Atık ısıdan kazanılan gelir (€) | 657,951 | 657,951 | 657,951 | 657,951 | 657,951 | 657,951 | 657,951 |
| Toplam gelirler Euro | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 |

Tablo 12’ de işletme giderleri verilmiştir.

Tablo 12. İşletme Giderleri

| İşletme Giderleri (€) | 1.Yıl | 2.Yıl | 3.Yıl | 4.Yıl | 5.Yıl | 10.Yıl | 15.Yıl |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Doğalgaz gideri | 1,788,895 | 1,788,895 | 1,788,895 | 1,788,895 | 1,788,895 | 1,788,895 | 1,788,895 |
| Yağlama yağı giderleri | 15,120 | 15,120 | 15,120 | 15,120 | 15,120 | 15,120 | 15,120 |
| Bakım giderleri | 168,000 | 168,000 | 168,000 | 168,000 | 168,000 | 168,000 | 168,000 |
| Personel giderleri | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 | 30,000 |
| Tesis sigorta bedeli %0.25 | 3,925 | 3,925 | 3,925 | 3,925 | 3,925 | 3,925 | 3,925 |
| Toplam işletme gideri | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 |

Tablo 13’te kojenerasyon santrali ile oluşacak proje kazancı (gelir gider farkı) verilmiştir.

Tablo 13. Proje Kazancı

| İşletme yılları | 1.Yıl | 2.Yıl | 3.Yıl | 4.Yıl | 5.Yıl | 10.Yıl | 15.Yıl |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Toplam işletme gelirleri (Euro) | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 | 3,230,079 |
| Toplam işletme giderleri (Euro) | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 | 2,005,940 |
| İşletme karı (Euro) | 1,224,139 | 1,224,139 | 1,224,139 | 1,224,139 | 1,224,139 | 1,224,139 | 1,224,139 |
| Yatırımın hurda bedeli Euro %10 | - | - | - | - | - | - | 185,260 |

Proje Sahası Teslim Fiyatı: 1,593,000 Euro (KDV dahil)

Step-up Trafo ve OG Şalt Tesis: 259,600 Euro (KDV dahil)

Santral Binası, Genset, Trafo ve kabin temelleri ve yeraltı kanalları gibi tüm inşaat işleri: 200,000 Euro

Yerel ve merkezi makamlardan tüm izin ve lisans işleri: 10,000 Euro

Kapsam dışı borulama ve kablolama işleri: 100,000 Euro

Motor gaz girişine kadar doğalgaz boru hattı döşenmesi işi: 15,000 Euro

Tesis içi, gerekli olabilecek kompanzasyon işlemleri: 20,000 Euro

Ön görülmeyen giderler %10: 219,760 Euro

Toplam İlk Yatırım Maliyeti: 2,417,360 Euro

Kojenerasyon sisteminin kurulmasına karar vermek için kullanılacak ekonomik analiz yöntemleri:

-Geri Ödeme Süresi (GÖS)

-Net Bugünkü Değer (NBD)

-Fayda Maliyet Analizi (F/M)

-Geri Ödeme Süresi İle Ekonomik Analiz:

Bu yöntem, ekonomik ömür içinde anaparanın ve faiz giderlerinin ne kadar zamanda geri alınabileceğini ölçen ve yatırımın ne kadar süre işletme lehine işletilebileceğini gösteren, zaman ölçümüne dayalı bir metottur.

Teknolojik ilerlemenin hızlı olduğu sektörlerde (elektronik, silah, bilgisayar, kamera, vb.) bu yöntem çok önemlidir. Bu sektörlerde piyasaya çıkan ürünün ne kadar süre ile üretileceği ve pazarlanacağı aşağı yukarı hesaplanmış durumdadır. Üretilen ürünün hayat seyri içerisinde yatırımı geri ödemesi gerekir. Aksi takdirde teknolojik yenilikler ve yeni ürünler yatırımı zararlı hale getirebilir.

Geri ödeme süresi herhangi bir yatırıma ait anaparanın ne kadar sürede geri alınacağını gösterir. Bu metot projenin kabulü veya reddi konusunda kesin sonuç vermez. Sadece yatırımcıyı yönlendirebilir. Geri ödeme süresi 3 yıl veya 3 yıldan az ise yatırım kabul edilebilir aksi halde yatırım reddedilir. Projenin getirisinin bulunması için NBD, NGD, KI, İ* metotlarının kullanılması gerekir. Geri ödeme süresi metodu bu metotlara yardımcı bir metottur.

$$GÖS = \frac{YT}{GGF}$$

(1)

$$GÖS = \frac{2,417,360}{1,224,139}$$

23,7 ay yani yaklaşık 2 yıl olarak hesaplanır.

-Net Bugünkü Değer İle Ekonomik Analiz (NBD):

NBD, yatırımın nakit girişlerinin bugünkü değerinden (BD_H) nakit çıkışlarının bugünkü değerinin (BD_G), çıkarılmasıyla hesaplanır. Şayet sonuç pozitif değer ise kabul edilir, negatif değer ise proje reddedilir. Yani;

$NBD > 0$ ise proje kabul edilir,

$NBD = 0$ ise durum farksızdır herhangi bir yatırıma gerek yoktur,

$NBD < 0$ ise proje reddedilir.

$$NBD = BD_H - BD_G = -C + \sum \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

(2)

2020 yılı ortalama faiz oranının ülkemizde %12, yatırımın ekonomik ömrünün 15 yıl olduğu düşünülürse;

$$NBD = BD_H - BD_G = -2,417,360 + \sum \frac{1,224,139}{(1+0,12)} + \frac{1,224,139}{(1+0,12)^2} + \dots + \frac{1,224,139}{(1+0,12)^{15}}$$

$$NBD = 2,193,038 \text{ Euro}$$

$NBD > 0$ olduğundan yatırım kabul edilir.

-Fayda Maliyet Analizi:

Fayda maliyet oranı yatırımın ömrü boyunca sağlayacağı girdilerin bugünkü değerlerinin, bu yatırım için yapılan harcamaların bugünkü değerine oranıdır. Bu analizde yatırımın kabul edilebilmesi için F/M oranının 1 den büyük olması gerekmektedir.

$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \right] + \frac{H}{(1+r)^{n+1}}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

$$F/M = \frac{\left[\sum_{t=1}^{15} \frac{3,230,079 \cdot (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} \right] + \frac{185.260}{(1+0.12)^{16}}}{\sum_{t=1}^{15} \frac{2,005,940 \cdot (1+0.09)^t}{(1+0.12)^t} + 2,417,360}$$

F/M= 1,568 olarak hesaplanır. 1'den büyük olduğu için yatırım kabul edilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi kampüsü için kurulması planlanan kojenerasyon santralinin ekonomik analizi yapılmıştır. Kojenerasyon sistemi seçiminde Atatürk Üniversitesi kampüsünün elektrik tüketimi, E/I (Elektrik/Isı) oranı ve gerekli ısı enerjisi miktarının yıl içinde aşırı değişkenlik göstermesi etkili olmuştur. Ayrıca bu çalışmada soğuk iklim bölgelerinde elektrik/ısı oranından faydalanılamayacağı kanaatine varılmıştır. Bunun nedeni bu bölgelerde kış aylarında duyulan ısı ihtiyacının elektrik ihtiyacından oldukça fazla olmasıdır. Yaz aylarında ise ısı ihtiyacı neredeyse hiç yoktur. Türbinli sistemlerin kurulum maliyetinin fazla olması ve kampüsün ısı ihtiyacının yıl içinde değişkenlik göstermesi, doğalgaz motorlu sistemin seçilmesini etkilemiştir. Aylık tüketimlerin en çok ve en az olduğu aylar dikkate alınarak motor gücü belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre 2 adet MWM marka TCG 2020 V20 model doğalgaz motorlu sistem seçilmiştir.

Atatürk Üniversitesi'ne ait bir yıllık enerji tüketim değerlerine göre kampüsün yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının 31,352,552 kW olduğu görülmüştür. Yıllık 12,282,914 m³ doğalgaz harcamasına denk gelen eş değer enerji tüketiminin 117,621,184 kW olduğu görülmüştür. Bu sistemle yıllık 28,800,000 kW elektrik üretililecektir.

Seçilen sistem için çeşitli ekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Geri ödeme süresi analizinde geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıl olarak bulunmuştur. Bu süre gayet makul kabul edilmektedir. Ancak geri ödeme süresi analizi tek başına anlamlı sonuç vermemektedir. Sistemin değerlendirilmesi için yapılan diğer analiz paranın bugünkü değeri üzerinden yapılmıştır. Bu analiz sonucu da olumludur ve yatırımın yapılmasını desteklemektedir. Son olarak fayda/maliyet analizi yapılmış ve bu analiz de yatırımın yapılmasını desteklemiştir.

Kojenerasyon sistemlerinin bölgesel ısıtma yapılan kampüslerde, alışveriş merkezlerinde, hastanelerde, toplu konut projelerinde, büyük ölçekli otellerde, havaalanlarında uygulanması için

desteklenmelidir. Kojenerasyon sistemleri enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olan ülkemiz için hem ekonomik hem de çevresel olarak katkı sağlayacaklardır.

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

- Abbaspour H., Ehyaei M.A., Ahmadi A., Panahi M., Abdalisousan A., Mirzohosseini A. Energy, exergy, economic, exergoenvironmental and environmental (5E) analyses of the cogeneration plant to produce electrical power and urea. *Energy Conversion and Management*; 2021; 235: 113951.
- Adıgüzel N., Comaklı O., Ekmekci I., Pusat S. Economical evaluation of a cogeneration system for a building complex. *Advances in Mechanical Engineering*; 2015; 7(3): 1687814015575951.
- Caglayan H., Caliskan H. Thermodynamic based economic and environmental analyses of an industrial cogeneration system. *Applied Thermal Engineering*; 2019; 158: 113792.
- Chen H., Wang Y., Li J., Xu G., Lei J., Liu T. Thermodynamic analysis and economic assessment of an improved geothermal power system integrated with a biomass-fired cogeneration plant. *Energy*; 2022; 240: 122477.
- Darabadi Zareh A., Khoshbakhti Saray R., Mirmasoumi S., Bahlouli K. Extensive thermodynamic and economic analysis of the cogeneration of heat and power system fueled by the blend of natural gas and biogas. *Energy Conversion and Management*; 2018; 164: 329-343.
- Ebrahimi A., Ghorbani B., Ziabasharhagh M. Exergy and economic analyses of an innovative integrated system for cogeneration of treated biogas and liquid carbon dioxide using absorption–compression refrigeration system and ORC/Kalina power cycles through geothermal energy. *Process Safety and Environmental Protection*; 2022; 158: 257-281.
- Jordán PS., Javier Eduardo AM., Czerwiec Zdzislaw M., Guzman Alan Martin Z., Perez Liborio H., Zamudio Jesus Antonio F., Guillen Mario Roman D. Techno-economic analysis of solar-assisted post-combustion carbon capture to a pilot cogeneration system in Mexico. *Energy*; 2019; 167: 1107-1119.
- Kabacan T. Bölgesel ısıtma yapılan yerleşkelerde ısı merkezlerine kojenerasyon sisteminin entegrasyonu ve Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsü Örneği, Fen Bilimleri Enstitüsü; Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye, 2019.

- Kanbur BB., Xiang L., Dubey S., Hoong Choo F., Duan F. A micro cogeneration system with LNG cold utilization-part 1: Energetic, Economic and Environmental Analyses. *Energy Procedia*; 2017; 105: 1902-1909.
- Karana DR., Sahoo RR. Thermal, environmental and economic analysis of a new thermoelectric cogeneration system coupled with a diesel electricity generator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*; 2020; 40: 100742.
- Karellas S., Braimakis K. Energy–exergy analysis and economic investigation of a cogeneration and trigeneration ORC–VCC hybrid system utilizing biomass fuel and solar power. *Energy Conversion and Management*; 2016; 107: 103-113.
- Li P., Hu Q, Sun Y., Han Z. Thermodynamic and economic performance analysis of heat and power cogeneration system based on advanced adiabatic compressed air energy storage coupled with solar auxiliary heat. *Journal of Energy Storage*; 2021; 42: 103089.
- Li ZX., Ehyaei MA., Ahmadi A., Jamali DH., Kumar R., Abanades S. Energy, exergy and economic analyses of new coal-fired cogeneration hybrid plant with wind energy resource. *Journal of Cleaner Production*; 2020; 269: 122331.
- Mosaffa AH., Farshi LG., Khalili S. A novel enhanced ammonia-water power/cooling cogeneration system with dual level cooling temperature: Thermodynamic and economic assessments. *Energy Conversion and Management*; 2021; 244: 114530.
- Urbanucci L., Testi D. Integration of reversible absorption heat pumps in cogeneration systems: Exergy and economic assessment. *Energy Conversion and Management*; 2019; 200: 112062.
- Vialetto G., Noro M., Rokni M. Combined micro-cogeneration and electric vehicle system for household application: An energy and economic analysis in a Northern European climate. *International Journal of Hydrogen Energy*; 2017; 42(15): 10285-10297.

Örtü Altı Üreticilerinin Sosyo-Ekonomik Durumları, Yetiştiricilik Uygulamaları ve Pazarlama Tercihleri: Çarşamba İlçesi Örneği

Yasin Alparslan KURT^{1*}, İsmet BOZ²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım Politikası ve Yayım Anabilim Dalı, Samsun

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım Politikası ve Yayım Anabilim Dalı, Samsun

¹<https://orcid.org/0000-0003-1894-7254>

²<https://orcid.org/0000-0001-7149-8393>

*Sorumlu yazar: yalparslankurt@gmail.com.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 11.04.2022

Kabul tarihi: 07.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Örtü altı yetiştiriciliği

Üretici profili

Örtü altı üreticilik uygulamaları

Pazarlama tercihleri

ÖZ

Bitkisel üretim, ağırlıklı olarak tarla ve bahçe gibi geleneksel üretim alanlarının yanı sıra örtü altı üretim alanları gibi kontrollü koşullarda da yapılmaktadır. Bu alanlardaki üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından, üreticilerin durumlarının farklı parametrelerle tespit edilmesi önemlidir. Bu araştırma kapsamında Çarşamba ilçesinde örtü altı üretimi yapan üreticilerin sosyo-ekonomik profillerini, örtü altı üreticilik uygulamalarını ve pazarlama tercihlerini ortaya koymak amaçlanmıştır. Araştırmada; tabakalı örnekleme yöntemine göre seçilmiş olan üreticiler ile yüz yüze anket çalışması yapılmış ve üreticilerin ilgili parametreler yönünden durumları tespit edilmiştir. Araştırma sonucu üreticilerin; yaş ortalamasının 53, ailedeki ortalama fert sayısının 5,51, ortalama çiftçilik deneyim sürelerinin 33 yıl ve ortalama örtü altı yetiştiricilik deneyim sürelerinin 16,74 yıl olduğu saptanmıştır. Ayrıca üreticilerin; toprak analizi yaptırmaya mesafeli oldukları, genel olarak çiftlik gübresi kullanmayı tercih ettikleri, kimyasal gübre ve tarımsal mücadele ilaçlarını yaygın biçimde kullandıkları ve sulamada kuyu suyunu ve sulama sistemi olarak da damlama sulama sistemini kullandıkları tespit edilmiştir. İlave olarak üreticilerin; %60,60'ının üretim faaliyeti esnasında girdi kredisi kullandıkları, üretimde kullandıkları fideyi %70,90 piyasadan satın aldıkları ve üretmiş oldukları ürünleri %46,00 haller üzerinden ve %30,80 kendi olanaklarıyla pazarladıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak; incelenen parametreler dikkate alındığında, bölgede örtü altı üreticiliği bakımından önemli bir potansiyelin olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, bu potansiyelin etkin bir biçimde değerlendirilebilmesi için bilhassa girdi desteğinin artırılması ve pazarlama olanaklarının çeşitlendirilmesine yönelik tarımsal destek faaliyetlerinin artırılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Socio-Economic Status, Growing Practices and Marketing Preferences of Greenhouse Growers: The Case of Çarşamba District

Research Article

Article History:

Received: 11.04.2022

Accepted: 07.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Greenhouse growing

Grower profile

ABSTRACT

Crop production is mainly carried out in traditional production areas such as fields and orchards. It is also carried out under controlled conditions such as greenhouse production areas. In order to ensure the sustainability of production in these areas, it is important to determine the status of the growers with different parameters. Therefore, this research was conducted in order to reveal the socio-economic profiles, greenhouse production practices and marketing preferences of the growers engaged in greenhouse production in Çarşamba

district. In the research; a face-to-face survey was conducted with the growers selected according to the stratified sampling method and the status of the growers in terms of the relevant parameters was determined. It has been determined that i) the average age of the growers is 53, ii) the average number of members in the family is 5,51, iii) the average farming experience of the growers is 33 years, and the average of greenhouse farming experience is 16,74 years. In addition, it has been determined that i) growers are distant from having soil analysis, ii) generally prefer to use farmyard manure, iii) widely use chemical fertilizers and agricultural pesticides, and iv) use well water for irrigation and drip irrigation system as irrigation system. In addition; i) 60,60% of the growers used input credits during their production activities, ii) 70,90% of the seedlings were purchased from the market, and iii) their products were 46,00% through vegetable markets, and they marketed 30,80% directly to the buyer themselves. As a result; considering the parameters evaluated, it can be said that there is an important potential for greenhouse production in the region. However, it has been concluded that agricultural support activities should be increased especially for increasing input support and diversifying marketing opportunities in order to utilize this potential effectively.

To Cite: Kurt YA., Boz İ. Örtü Altı Üreticilerinin Sosyo-Ekonomik Durumları, Yetiştiricilik Uygulamaları ve Pazarlama Tercihleri: Çarşamba İlçesi Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 330-341.

1. Giriş

Çarşamba İlçesi, Samsun-Ordu karayolu üzerinde, Yeşilirmak nehrinin iki yakasında Çarşamba Ovası üzerinde kurulmuştur. İlçenin doğusunda Terme, batısında Tekkeköy ilçeleri bulunmaktadır. Kuzeyinde Karadeniz kıyıları, Güneyde ise Ayvacık ve Salıpazarı ilçeleri yer almaktadır (Anonim, 2020). Çarşamba İlçesinin nüfusu 140.039 olup, bu nüfusun %49,70'ini erkek nüfusu ve %50,30'unu kadın nüfusu oluşturmaktadır (Anonim, 2022a). İlçe halkının ana geçim kaynağı tarım olup, toplam arazi varlığının %76,00'sını (777.560 dekar) tarım alanları oluşturmaktadır. İlçe tarım alanının yarısını meyve bahçeleri (%50,4), %21,40'ını sebze alanları, %11,30'unu tarla alanları, %10,90'ını yem bitkileri, %4,70'ini kavaklık, %1,20'sini örtü altı alanları ve %0,09'unu süs bitkileri yetiştirme alanları oluşturmaktadır (Anonim, 2018).

Örtü altı tarımı, bitkilerin normal mevsiminin dışında, kontrollü şekilde ve birim alandan yüksek verim alınmasına olanak sağlayan bir üretim modelidir (Tüzel ve ark., 2015). Örtü altı tarımı bünyesinde, alçak ve yüksek plastik tüneller ve seraları (cam ve plastik) barındırmaktadır. Alçak yapılı tünellerde turfanda (erkenci) üretim, yüksek tüneli ve seralarda ise mevsim dışı üretim yapılmaktadır (Tüzel ve ark., 2015). Ülkemizde 2012-2021 yılları arasında ortalama örtü altı tarım alanı genişliği açısından, 13342,48 da örtü altı üretim alanına sahip olan Samsun İl'i Türkiye'de 7. sırada yer almaktadır. Samsun İlinin örtü altı tarım alanlarının büyük bir çoğunluğu (%90,44) Çarşamba İlçesinde yer almaktadır (Anonim, 2021a). Bölgedeki üreticilerin örtü altı üretimi tercih etmesinin en önemli nedeni, örtü altında mevsim öncesi ve sonrasında yetiştirilen ürünlerin piyasada daha yüksek fiyatlardan satılması ve üreticilere daha yüksek gelir getirmesidir.

Çarşamba İlçesinde örtü altında en fazla üretilen ürünler sırasıyla; hıyar, domates, biber, marul, patlıcan, ıspanak ve taze fasulyedir. Üreticiler yıl içerisinde mevsime bağlı olarak yazlık ve kışlık ürünler üretmektedirler. Böylece mümkün olduğu sürece örtü altı alanları boş bırakılmamaktadır

(Anonim, 2018). İlçede örtü altı tarımının yaygınlaşmaya başladığı zamandan bugüne kadar kırsal alanda kalmayı tercih eden ve geçimini tarımsal faaliyetlerden sağlamayı düşünen aileler yıl içerisinde daha istikrarlı gelir elde etmektedirler. Bu durumun daha da yaygınlaşması halinde kırsal alandan, kentsel alanlara göç oranı azalabilir. Böylece kırsal nüfusun yerinde kalması ve refah düzeyinin artmasına katkı sağlanabilir.

Bu araştırma makalesi Çarşamba ilçesinde örtü altı üretim yapan üreticilerin sosyo-ekonomik durumlarını, üretim esnasındaki tarımsal uygulamalarını ve pazarlama tercihlerini ortaya koymak amacıyla hazırlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmanın ana materyalini; Samsun İlinin Çarşamba İlçesinde örtü altı sebze yetiştiriciliği yapan üreticilerden anket yoluyla elde edilmiş veriler ve Çarşamba Tarım ve Orman İlçe Müdürlüğü ile Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri oluşturmuştur.

2.2. Metot

2.2.1. Örneklem

İşletmelerden toplanan bilgilerle elde edilen bulguların doğruluğunu artırmak ve ana kitledeki farklı bölümlerin yeterince temsil edilmesini sağlamak amacıyla tabakalı tesadüfi örneklem yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan anket soruları Samsun İl'i Çarşamba İlçesinde konu ile ilgili daha önce yapılan araştırma verileri ve Tarım ve Orman İlçe Müdürlüğü teknik elemanlarının tavsiyeleri doğrultusunda hazırlanmıştır. Anket çalışması için Çarşamba ilçesinde örtü altı sebze üretiminin yapıldığı 50 köy ve bu köylerde üretim yapan toplam 769 üretici belirlenmiştir. İşletmeler örtü altı üretim alanı büyüklüğüne (da) göre 3 tabakaya ayrılmıştır. İşletmelerden; birinci tabaka 0,00-7,50 da, ikinci tabaka 7,50-20,00 da ve üçüncü tabaka 20,0-85,0 da örtü altı alanına sahiptir. Araştırmada anket uygulanan örnek sayısı, %5 hata payı ve %95 güvenirlilik aralığında aşağıdaki formül (Yamane, 2001) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n = \frac{N \sum N_h S_h^2}{N^2 D^2 + \sum N_h S_h^2}, \quad D^2 = d^2 / z^2$$

Eşitlikte; n= Örnek hacmini, S_h = h'inci tabakanın standart sapmasını, N_h = h'nci tabakadaki işletme sayısını göstermektedir. D^2 = arzulan varyansı, d= ortalamadan kabul edilen hata oranını, z= kabul edilen güven aralığına karşılık gelen standart normal dağılım tablosundaki z değerini göstermektedir.

Yapılan değerlendirme sonucu örtü altı üretim yapan 37 köyden 104 üretici ile anket çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Araştırmada çekilen örnek sayısı tabakalara oransal olarak dağıtılmıştır.

Bu dağılımda; 36 üretici birinci tabakada, 37 üretici ikinci tabakada ve 31 üretici üçüncü tabakada yer almıştır.

2.2.2. Veri toplama ve veri analizi

Araştırmada veri toplama işlemi çiftçilerle yüz yüze yapılan görüşmeler esnasında doldurulan anketlerle yürütülmüştür. Örtü altı üreticileri ile yapılan yüz yüze görüşme neticesinde elde edilen anket formları incelenmiş, gerekli kontroller, tamamlama ve düzenlemeler yapılmıştır. Anket formlarının hazırlanmasında araştırma bölgesinin tarımsal özellikleri, sosyo-ekonomik özellikleri ve konu ile ilgili önceden yapılmış çalışmalar göz önünde bulundurulmuştur. Özellikle üreticilerin farklı bölgelerde yürütmüş oldukları tarımsal faaliyetler ve kullandıkları bilgi kaynaklarına odaklanan çalışmalara ağırlık verilmiştir (Kurt 2020; Kurt ve Boz, 2021; Boz ve Özçatalbaş, 2010; Yalçın ve Boz, 2007). Anket soruları teknik olarak kapalı ve açık uçlu sorulardan oluşturulmuştur. Araştırmaya başlamadan önce 15 çiftçi ile bir pilot çalışma yapılarak anlaşılmayan sorularda düzeltmeler yapılmıştır. Bu yolla araştırmada veri toplama anketinin güvenilirliği artırılmıştır. Veri toplama işlemi 2019 yılı Ekim ve Kasım aylarında tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen veriler analiz edilmiştir. Verilerin analizinde; MS Excel paket programı kullanılarak basit aritmetik ortalamalar ve yüzde hesaplamalardan yararlanılmıştır. Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanarak, değişkenler çapraz tablolar ile değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Üreticilerin Sosyo-Ekonomik Özellikleri

Tarımsal faaliyetler için fiziksel güce olan ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda, üreticilerin aktif çalışma yaşları önem arz etmektedir. Araştırma sonucu üreticilerin yaş aralığının 30 ile 76 arasında değiştiği ve üreticilerin ortalama yaşının 53 olduğu belirlenmiştir (SS=10,401) (Tablo 1). Örtü altı yetiştiriciliğin daha yoğun olarak yapıldığı bazı illerde üreticilerin yaş ortalaması örneğin Antalya ilinde 42 (Özkan ve ark., 2011) ve Muğla ilinde 44,95 (Öztürk ve Engindeniz, 2019) olduğu rapor edilmiştir. Bölgede örtü altı üreticilerinin ortalama yaşının örtü altı yetiştiriciliğin yoğun olarak yapıldığı Antalya ve Muğla illerine göre daha yüksek olmasının muhtemel nedeni; bölgede örtü altı yetiştiriciliğin bu bölgelere göre daha sonraki yıllarda başlamış olmasıdır. Ayrıca ülke genelinde kırsal alandan kentsel alanlara özellikle genç nüfusun yoğun biçimde göç etmesinin sonucunda; kırsal alanda ikamet eden nüfusun doğal olarak yaşlı nüfustan oluşması ve bu nüfusun örtü altı yetiştiricilik faaliyeti ile işgal etmesinin bir sonucudur. Araştırma bölgesindeki üreticilerin okul çağındaki çocuklarının, köy hayatına ve tarımsal faaliyete olan ilgilerinin sınırlı olduğunun gözlenmiş olması, bölgedeki örtü altı yetiştiriciliğinde yakın bir gelecekte işgücü açığının ortaya çıkabileceğini göstermektedir.

Araştırma sonucu bölgedeki üreticilerin aile fert sayısı 2 ile 12 kişi arasında, ortalama aile fert sayısının ise 5,51 (SS=1,695) olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Türkiye’de aile başına fert sayısı ortalama 3,30 (Anonim, 2022) olup, Türkiye’nin değişik bölgelerinde örtü altı yetiştiriciliği yapan

işletmelerde aile fert sayısının ise örneğin Konya ilinde 4,64 (Oğuz ve Arısoy, 2002), Antalya İlinde 3,90 (Özkan ve ark., 2011) ve Muğla ilinde 3,43 (Öztürk ve Engindeniz, 2019) olduğu rapor edilmiştir. Samsun ilinde ise aile başına fert sayısı ortalama 3,22 (Anonim, 2021b)'dir. Araştırma bölgesindeki aile başına ortalama fert sayısı Türkiye ortalamasından %66,96 ve Samsun ortalamasından %71,11 daha fazladır. Ayrıca araştırma yapılan diğer bölgelerdeki aile başına fert sayısı ortalamasından da fazladır. Araştırma bölgesindeki aile başına ortalama fert sayısının, Samsun ili ortalamasından fazla olmasında; diğer şehirlerde olduğu gibi, Samsun ilinde de şehir merkezinde yoğunlaşan nüfusun doğurganlık oranının daha düşük olmasının etkisi olabilir. Genel olarak şehir merkezinde ikamet eden ailelerin eğitim seviyeleri daha yüksek ve eğitim seviyesi yüksek olan ailelerin de aile başına fert sayısı daha düşüktür (Anonim, 2022b). Bu durumlar araştırma bölgesindeki aile başına fert sayısının, Samsun ili genel ortalamasından daha fazla olmasında rol oynamış olabilir.

Tarımsal işletmelerde faaliyetlerin çeşitliliği genel olarak arazi büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik gösterir. Araştırma bölgesinde örtü altı sebze üreticiliği yapan tarımsal işletmelerin arazi büyüklüklerinin 2 ile 130 da arasında ve ortalama 29,84 da olduğu saptanmıştır (SS=28,565) (Tablo 1). Ancak daha önce ilçede yapılan bir araştırmada tarım işletmelerinin ortalama büyüklüğünün 45,41 da olduğu rapor edilmiştir (Bayraktar ve Boz, 2020). Tarımsal faaliyet bakımından işletmelerin ortalama işletme büyüklükleri arasındaki farklılıklar değerlendirildiğinde; örtü altı sebze üreticiliğine yönelmiş olan üreticilerin ağırlıklı olarak arazi varlığının daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Araştırma sonucu örtü altı sebze yetiştiriciliği yapan işletmelerde; örtü altı alanı büyüklükleri 0,12-16,70 da arasında ve ortalama 1,87 da olduğu belirlenmiştir (SS=2,35802). Örtü altı sebze üretimi yoğun iş gücü ve emek gerektiren bir tarımsal faaliyet olduğu için genel olarak sınırlı büyüklükteki alanlarda yapılmaktadır. Örneğin; örtü altı yetiştirme alanı Mersin ilinin Silifke ilçesinde 1,54 da (Rad ve Yarşı, 2005) ve Muğla ilinde ise 4,96 da (Öztürk ve Engindeniz, 2019) olduğu rapor edilmiştir. Bu araştırma bölgesinde örtü altı yetiştiricilik ortalama alanın (1,87 da) da rapor edilen alanlara ilişkin verilerle uyumludur. Örtü altı yetiştiricilik alanı büyüklüğünde başta işletmelerin genel arazi büyüklüğü, işgücü kapasitesi, teknik ve ekonomik olanakları ile pazarlama olanakları rol oynamaktadır.

Araştırma bölgesindeki örtü altı sebze üretimi yapan üreticilerin çiftçilik deneyim süreleri incelendiğinde; çiftçilik faaliyetiyle geçirilen sürenin 10- 55 yıl arasında, ortalama 33 yıl olduğu tespit edilmiştir (SS=10,08). Ayrıca üreticilerin örtü altı yetiştiricilik deneyimlerini belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda; üreticilerin örtü altı üretim deneyim sürelerinin 2- 34 yıl arasında, ortalama olarak 16,73 yıl olduğu belirlenmiştir (SS=6,64) (Tablo 1). Bu bulgu bölgedeki üreticilerin tarımsal faaliyetler konusunda yeterli deneyime sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Diğer taraftan üreticilerin çiftçilik ile örtü altı yetiştiricilik deneyimleri kıyaslandığı zaman örtü altı yetiştiricilik deneyimlerinin üreticilik deneyimine göre daha az olduğu anlaşılmaktadır. Örtü altı sebze yetiştiriciliği belirli bir tarımsal yetiştirme kültürüne sahip olan üreticiler tarafından tercih edilen ve yürütülen bir tarımsal faaliyettir. Dolayısıyla bu faaliyeti yapan çiftçiler, bölgeler arasında ve bölgeler

içerisinde farklılık gösterebilmektedir. Nitekim Akdeniz bölgesinde Antalya’da 15,70 yıl (Özkan ve ark., 2011) ve Muğla’da 20,81 yıl (Öztürk ve Engindeniz, 2019) olmasına karşın, araştırma bölgesinde 16,73 yıldır. Araştırma sonucu örtü altı yetiştiriciliği deneyimine ilişkin bulgu; üreticilerin 15 yılı aşkın süredir örtü altı yetiştiriciliği kültürüne sahip olduğunu göstermektedir. Tarımsal faaliyetin sürdürülebilirliği için deneyim, belirleyici bir faktör olduğundan, bölgede örtü altı üreticiliğinin sürdürülebilirliğinin istikbal vadettiği söylenebilir.

Tablo 1. Üreticilerin Sosyo-Ekonomik Özelliklerine İlişkin Veriler

| Sosyo-Ekonomik Özellikler | Minimum | Maximum | Ortalama | Standart Sapma (s) |
|---|---------|---------|----------|--------------------|
| Üreticinin Yaşı (yıl) | 30,00 | 76,00 | 53,81 | 10,40 |
| Aile Fert Sayısı (kişi) | 2,00 | 12,00 | 5,51 | 1,69 |
| Arazi Büyüklüğü (da) | 2,00 | 130,00 | 34,62 | 28,56 |
| Örtü Altı Alan Büyüklüğü (da) | 0,12 | 16,70 | 1,87 | 2,35 |
| Çiftçilik Deneyim Süresi (yıl) | 10,00 | 55,00 | 33,65 | 10,08 |
| Örtü Altı Üreticilik Deneyim Süresi (yıl) | 2,00 | 34,00 | 16,73 | 6,64 |

3.2. Örtü Altı Üreticilik Uygulamaları

Tarımsal faaliyetlerin doğru ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için faaliyete başlamadan önce toprağın sahip olduğu makro ve mikro besin elementleri kapsamları ile bitkiye yararlılık düzeylerinin belirlenmesi amacıyla toprak analizinin yapılması gerekir. Zira toprak analizi yapılmadan gübre kullanılması gübreden beklenen yararı azaltmakta, üretim maliyetini artırmakta, verim ve kalitenin düşmesine sebep olmakta, toprak ve çevreye zarar vermektedir (Gök ve ark., 1998). Araştırma bölgesindeki üreticilerin örtü altı yetiştiriciliği için toprak analizi yaptırma durumlarını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucu; üreticilerin sadece %2,90’ının düzenli olarak toprak analizi yaptırdıkları, %20,20’sinin daha önce iki-üç defa toprak analizi yaptırdıkları, %23,10’unun daha önce bir defa toprak analizi yaptırdıkları ve %53,80’inin hiç toprak analizi yaptırmadıkları tespit edilmiştir (Tablo 2). Elde edilen bu veriler değerlendirildiğinde, araştırma bölgesindeki üreticilerin yarısından fazlasının örtü altı yetiştiriciliğinde hiçbir şekilde toprak analizi yaptırmadıkları, yani üreticilerin bilinçli gübreleme konusunda farkındalık ve duyarlılık bakımından yetersiz oldukları söylenebilir.

Çiftlik gübresi toprağın fiziksel kapasitesinin artması, havalanması, bitki besin elementlerinin bitkiler tarafından alınabilir forma dönüştürülmesi ve üretimde kullanılan girdi masraflarının azaltılmasına katkı sağlaması bakımından tarımsal faaliyet için son derece önemlidir (Kurt, 2010). Araştırma bölgesindeki üreticilerin örtü altı yetiştiriciliğinde çiftlik gübresi kullanma durumlarını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda, üreticilerin tamamına yakınının (%96,20) düzenli olarak çiftlik gübresi kullandıkları belirlenmiştir. Bu durum, üreticilerin tarımsal faaliyette kullanma

bakımından imkanları ölçüsünde ellerindeki kaynakları değerlendirmeye gayret ettikleri ve sürdürülebilir bir üretim için toprağın bitkisel üretim potansiyelini korumaya çalıştıklarını göstermektedir. Nitekim çok az sayıda üreticinin (%3,80) ise düzenli olarak çiftlik gübresi kullanmadıkları belirlenmiştir (Tablo 2). Üreticilerin işletme dışından çiftlik gübresi temin etme olanaklarının kısıtlı olduğunun belirlenmiş olması, bazı üreticilerin çiftlik gübresi kullanmama durumunun sebebinin açıkça ortaya koymaktadır.

Verimli ve kaliteli bir bitkisel üretim için bitkilerin büyüme ve gelişme zamanlarında ihtiyaç duydukları miktardaki gübrelerin bitkilere sağlanması gereklidir. Bu nedenle üreticilerin kullanmış oldukları gübre miktarı ve sıklığı önem arz etmektedir (Kacar ve Katkat, 2011). Üreticilerin, üretim sezonunda kullandıkları kimyasal gübre sıklığını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda; %50,00'sinin haftada bir defa, %27,90'ının ayda birkaç defa, %22,10'unun ayda bir defa kimyasal gübre kullandıkları belirlenmiştir. Ayrıca üreticilerin; %48,10'u haftada bir defa, %27,90'ı ayda birkaç defa ve %20,20'si ayda bir defa olmak üzere yaprak gübresi kullandıkları, %3,80'inin ise herhangi bir yaprak gübresi kullanmadıkları saptanmıştır (Tablo 2). Bu veriler üreticilerin örtü altı üretiminde geleneksel üretime göre daha sık gübre kullandıklarını göstermektedir.

Hastalık ve zararlıların bitkisel üretimde verim ve kaliteyi, genel olarak, %10 azalttığı kabul edilmektedir (Alağolu ve ark., 2018). Bölgede örtü altı yetiştiriciliği yapılan sezonda havanın nemli ve sıcaklıkların yüksek olması hastalıklar için uygun zemin oluşturmaktadır. Bu nedenle bölgede örtü altı yetiştiriciliği yapan üreticilerin, üretim döneminde kimyasal ilaç kullanma sıklığını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda; üreticilerin %83,70'inin ayda bir defa, %9,60'ının ayda birkaç defa ve %6,70'inin haftada bir defa olmak üzere kimyasal ilaç kullandıkları belirlenmiştir (Tablo 2). Türkiye'de örtü altı üreticiliğe dair (Sevgican ve ark., 2000; Çanakçı ve akıncı, 2009)'nın yapmış oldukları çalışmalar dikkate alındığında bölgede örtü altı üreticiliğinde hastalık ve zararlılar için uygun zemin olmasına rağmen, ilaç kullanma sıklığının fazla olmadığı anlaşılmaktadır. Buna rağmen hastalık ve zararlılara karşı ilaç kullanımının doğaya ve canlılara verdiği zarar dikkate alındığında, ilaçlama konusunda yayım eğitimleri verilerek üreticilerin daha bilinçli ve duyarlı hale gelmesi sağlanmalıdır.

Bitkisel üretimde su önemli bir yere sahiptir. Bitkiler su ihtiyaçlarını doğal olarak yağmur yoluyla sağlanan su ile veya sulama sistemleriyle yapay yollardan sağlanan su ile karşılarlar (Kurt, 2010). Örtü altı yetiştiriciliğinde bitkilerin su ihtiyacı sulama sistemleriyle sağlanan su ile karşılanmaktadır. Dolayısıyla bölgede örtü altı üreticiliği yapan üreticilerin, üretim sürecinde sulama suyu kaynağını ve sulama yöntemini belirlemeye yönelik yapılan değerlendirme neticesinde; üreticilerin %88,50'sinin kuyu suyu kullandıkları belirlenmiştir. İlave olarak bölgede üreticilerin üretim sürecinde sulama faaliyetinde birden fazla sulama sistemini ayrı ayrı ya da birlikte kullandıkları belirlenmiştir. Nitekim üreticilerin; %83,70 damla, %45,20 yağmurlama, %22,10 salma sulama sistemlerini kullandıkları belirlenmiştir (Tablo 2). Bölgedeki üreticilerin üretim maliyetlerini azaltmak için ağırlıklı olarak işletmelerinde var olan kuyulardaki sudan sulamada yararlandıkları anlaşılmaktadır. Ayrıca üreticilerin

kuyu suyunu kullanmada, suyu tasarruflu kullanma konusunda diğer sistemlere göre daha avantajlı sulama olanağı sağlayan damlama sulama sistemini kullanmaya özen gösterdikleri gözlenmiştir. Her ne kadar örtü altı üretim yapan üreticiler sulama sistemi konusunda yeterli bilinç düzeyine sahip oldukları gözlenmiş olsa da bir kısım üreticinin (%22,10) hala salma sulama sistemini kullanmaya devam ettikleri gözlenmiştir.

Tablo 2. Üreticilerin Örtüaltı Üreticilik Uygulamalarına İlişkin Veriler

| Toprak Analizi Yaptırma Durumu | Sayı | Oran (%) |
|---------------------------------|------------|---------------|
| Hiç yaptırmadı | 56 | 53,80 |
| Bir defa yaptırdı | 24 | 23,10 |
| İki-üç defa yaptırdı | 21 | 20,20 |
| Düzenli yaptırıyor | 3 | 2,90 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Çiftlik Gübresi Kullanma Durumu | Sayı | Oran (%) |
| Hayır | 4 | 3,80 |
| Evet | 100 | 96,20 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Kimyasal Gübre Kullanma Sıklığı | Sayı | Oran (%) |
| Ayda bir defa | 23 | 22,10 |
| Ayda birkaç defa | 29 | 27,90 |
| Haftada bir defa | 52 | 50,00 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Yaprak Gübresi Kullanma Sıklığı | Sayı | Oran (%) |
| Hiç kullanmaz | 4 | 3,80 |
| Ayda bir defa | 21 | 20,20 |
| Ayda birkaç defa | 29 | 27,90 |
| Haftada bir defa | 50 | 48,10 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Kimyasal İlaç Kullanma Sıklığı | Sayı | Oran (%) |
| Ayda bir defa | 87 | 83,70 |
| Ayda birkaç defa | 10 | 9,60 |
| Haftada bir defa | 7 | 6,70 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Sulama Suyu Kaynağı | Sayı | Oran (%) |
| Yüzey suyu | 12 | 11,50 |
| Kuyu suyu | 92 | 88,50 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Salma Sulama Uygulama Durumu | Sayı | Oran (%) |
| Hayır | 81 | 77,90 |
| Evet | 23 | 22,10 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Yağmurlama Sulama | Sayı | Oran (%) |
| Hayır | 57 | 54,80 |
| Evet | 47 | 45,20 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Damla Sulama Sistemi | Sayı | Oran (%) |
| Hayır | 17 | 16,30 |
| Evet | 87 | 83,70 |
| Toplam | 104 | 100,00 |

3.3. Üreticilerin Pazarlama ve Finansman Tercihleri

Üretimin kesintiye uğramaması için finansman ihtiyacının yeterli düzeyde ve zamanında karşılanması gerekir. Nitekim bu amaçla resmi ve özel kuruluşlar tarafından üreticilerin finansman ihtiyacını karşılamak için çeşitli hibe ve kredi (faizsiz ve düşük faizli) destekleri sağlanmaktadır (Anonim, 2021c). Üreticilerin üretim faaliyetleri için ekonomik kaynaklarının yetersiz olması, kısa süreli de olsa kredi desteğine ihtiyaç duymalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla bölgedeki örtü altı üreticilerinin girdi kredisi kullanma durumlarını belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda; %60,60'ının girdi temini için girdi kredisi kullandıkları belirlenmiştir (Tablo 3). Bir başka deyişle üreticilerin çoğunluğu örtü altı üreticilik faaliyetinde finansman ihtiyaçlarını girdi kredileri kullanma yoluyla karşılamaktadırlar. Bu durum bölgedeki örtü altı üreticilerinin yeterli sermaye varlığına sahip olmadıklarının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Örtü altı üretiminde üretim maliyetini belirleyen en önemli etmen, girdi maliyetleridir. Fide maliyeti örtü altı üreticilikte üretim maliyetlerine etki eden önemli bir girdi kalemidir. Üreticilerin fideyi nereden temin ettiklerini belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucu; %77,90'ının fideyi piyasadan satın alma yoluna gittikleri ve sadece %22,10'unun fideyi kendilerinin ürettikleri belirlenmiştir (Tablo 3). Bu durum üreticilerin örtü altı üretim faaliyetlerini sürdürebilmek için, fide temini konusunda büyük ölçüde piyasaya bağımlı olduklarını göstermektedir. Dolayısıyla fide temini konusunda piyasaya bağımlı olmak üretim maliyetinin artmasına ve buna bağlı olarak da ürün fiyatlarının yükselmesine neden olmaktadır.

Türkiye'de örtü altı sebze yetiştiriciliğinde üretilen ürünler genel olarak toptancı halleri ve komisyoncular aracılığı ile piyasaya arz edilmektedir. Ürünlerin pazarlanmasında sorun yaşanmaması üreticilerin faaliyetlerini sürdürmeleri açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla bölgede üreticilerin pazarlama tercihlerini belirlemek amacıyla yapılan değerlendirme sonucunda; %46,20'sinin ürettiği oldukları ürünleri hale vermek suretiyle, %30,80'inin ürettikleri ürünleri kendileri semt pazarlarında ve %23,10'unun ürettikleri ürünleri kendileri pazarladıktan sonra ürün artması durumunda, artan ürünlerini hale vermek suretiyle pazarladıkları tespit edilmiştir (Tablo 3). Bölgedeki üreticilerin pazarlama tercihlerine benzer tercihler, diğer bölgelerdeki üreticiler tarafından da benimsenmektedir. Nitekim birçok araştırma sonucu üreticilerin seralarda yetiştirdikleri sebzeleri çoğunlukla toptancı halleri ya da tüccarlar aracılığıyla pazarladıkları rapor edilmiştir (Pezikoğlu ve Ergun, 1997; Çimen, 2001; Adıgüzel, 2005; Bayraktar, 2005; Eltez ve Eltez, 2005; Kadanalı ve ark., 2008; Daka ve ark., 2012). Bununla birlikte bu bölgede olduğu gibi diğer bazı bölgelerdeki üreticilerin ürünlerini kendilerinin pazarladıkları rapor edilmiştir. Nitekim sera işletmelerinin küçük olması durumunda, üreticilerin ürettiği oldukları ürünleri kendi köy ve kasabalarında perakende olarak pazarladıkları rapor edilmiştir (Çinkılıç ve ark., 2014). Bu durum son yıllarda genel olarak semt pazarlarının sayısının artmasına ve üreticilerin nihai tüketiciye direk erişimine katkı sağlamaktadır.

Tablo 3. Üreticilerin Pazarlama ve Finansman Tercihleri

| Girdi Kredisi Kullanma Durumu | Sayı | Oran (%) |
|--------------------------------------|------------|---------------|
| Evet | 63 | 60,60 |
| Hayır | 41 | 39,40 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Üretici Fide Temini Tercihi | Sayı | Oran (%) |
| Kendisi üreten | 23 | 22,10 |
| Piyasadan alan | 81 | 77,90 |
| Toplam | 104 | 100,00 |
| Üretici Pazarlama Tercihi | Sayı | Oran (%) |
| Kendisi pazarlıyor | 32 | 30,80 |
| Hale götürüyor | 48 | 46,20 |
| Kendisi pazarlıyor + Hale götürüyor | 24 | 23,10 |
| Toplam | 104 | 100,00 |

4. Sonuç

Sonuç olarak; üreticilerin sosyo- ekonomik profilleri, örtü altı yetiştiricilik uygulamaları ve pazarlama tercihleri dikkate alındığında; Çarşamba ilçesinde örtü altı üreticiliği bakımından önemli bir potansiyel vardır. Ancak üreticilerin toprak analizi yaptırmama ve salma sulama sistemini kullanma gibi uygulamaları terk etmeleri yönünde bilinç düzeylerinin artırılmasını sağlayacak eğitim ve yayım faaliyetlerinin düzenlenmesi hem girdi “maliyetlerinin düşmesine hem de su tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayarak bölgede örtü altı üretiminin gelişmesine destek olabilir.

Son yıllarda girdi fiyatlarının aşırı yükselmesi ve önceki yıllarda bölge üreticilerinin pazarı konumunda olan iç bölgelerdeki illerin örtü altı yatırımlarını teşvik etmeleri sebebiyle pazarlama olanakları sınırlanmıştır. Bölgede alternatif pazar olanakları oluşturulmadığı için örtü altı üreticiliğindeki karlılık oranı azalmıştır. Bunun sonucu üreticilerin yetiştirdikleri örtü altı bitkilerden beklentileri azalmış ve alternatif örtü altı bitkilerini yetiştirmeye yönelik eğilim ağırlık kazanmıştır.

Bölgenin örtü altı üretim potansiyelinin etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi için bilhassa *i*) tohum, ilaç ve mazot desteği gibi girdi desteklerinin artırılması, *ii*) organik üretime yönelik verilen desteklerin artırılması, *iii*) çiftçilerin alternatif ürün gruplarının yetiştiriciliği konusunda bilgilendirilmesi, *iv*) çiftçilerin ürünlerini işleme ve pazarlama konusunda örgütlenme becerilerini artırmaya yönelik yayım faaliyetlerinin yapılması, *v*) pazarlama olanaklarının çeşitlendirilmesi ve *vi*) depolama ve işleme olanaklarının geliştirilmesi konusunda gerekli desteklerin sağlanması gerekir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

- Adıgüzel E. Mersin ili erdemli ilçesinde bazı sera ürünlerinde üretim maliyeti ve pazarlama yapısı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 61, Erzurum, Türkiye, 2005.
- Alaoğlu Ö., Poyraz N., Güncan A. Baştaş. KK. Bitki koruma. 1.Basım İstanbul: Atlas akademi yayınları; 2018.
- Anonim. Çarşamba ilçesinin tarımsal ürün potansiyeli açısından değerlendirilmesi. Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı (OKA); 2018.
- Anonim. Çarşamba'nın coğrafik konumu. 2020. <https://samsun.ktb.gov.tr/TR-59662/cografik-konum.html> (Erişim Tarihi: 01.01.2020).
- Anonim. Örtü altı tarım alanları. Türkiye İstatistik Kurumu. 2021a.
- Anonim. Aile istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. 2021b. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2020-37251> (Erişim Tarihi: 28.03.2022).
- Anonim. Türkiye Tarım Kredi Kooperatifleri 2021 faaliyet raporu. 2021c. Türkiye Tarım Kredi Kooperatifleri.
- Anonim. Çarşamba nüfusu. https://www.nufusu.com/ilce/carsamba_samsun-nufusu. 2022a. (Erişim Tarihi: 28.03.2022).
- Anonim. Annenin yaş grubu ve eğitim durumuna göre doğumlar. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dogum-Istatistikleri-2020-37229>. 2022b. (Erişim Tarihi: 01.04.2022).
- Bayraktar ÖV. Entegre mücadele programı uygulanan örtü altı domates yetiştiriciliğinde üretim ve pazarlama yapısının incelenmesi üzerine bir araştırma, Muğla ili örnek olayı. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 151, İzmir, Türkiye, 2005.
- Bayraktar A., Boz İ. Attitudes and behaviours of farmers in using of pesticides in Çarşamba district of Samsun. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 2020; 8(2): 392-398.
- Boz I., Özcatılbas O. Determining information sources used by crop producers: A case study of Gaziantep province in Turkey. African Journal of Agricultural Research 2010; 5(10): 980-987.
- Çanakçı M., Akıncı İ. Antalya ili sera sebze yetiştiriciliğinde uygulanan tarımsal işlemler ve insan işgücü kullanımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 2009; 5 (2): 193-202.
- Çimen Z. Antalya ili Kumluca ilçesindeki sera üreticilerinin pazarlama sorunları. Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2001; 1: 1-14.
- Çinkılıç H., Çinkılıç L., Varış S., Kubaş A. Trakya bölgesinde sera sebzeciliği ve sorunları. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2014; 11(2): 1-10.
- Daka K., Gül A., Engindeniz S. Muğla ilinde seralarda dışsatıma yönelik domates üretimi ve pazarlaması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2012; 49(2): 175-185.
- Eltz S., Eltez RZ. Bergama ve dikili ilçeleri sera potansiyeli ve seracılık faaliyetleri üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2005; 42(2): 203-214.

- Gök M, Onaç I, Karip B, Sağlamtimur T, Coşkan A, Tansı V, Kızılsimşek M. Hasat artıkları, tütün atığı ve hayvan gübresi uygulamalarının toprakta azot mineralizasyonu, immobilizasyonu ve toprağın bazı biyolojik özelliklerine etkisi: Senol S (ed), M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil. "YISARS", 21-24 Eylül 1998, İzmir, 551-557, 1998.
- Kacar B, Katkat. V. Bitki besleme. 6. Baskı İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık; 2011.
- Kadanalı E., Saklıca A., Dağdemir V. Erzurum ili Uzundere ilçesinde serada hıyar ve domates üretim maliyeti ve pazarlama yapısı. 8. Türkiye Tarım Ekonomisi Kongresi, 25-27 Haziran 2008, sayfa no: 474-486, Bursa.
- Kurt, O. Tarla bitkileri yetiştirme tekniği. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ders Kitabı No:44; 2010.
- Kurt YA., Samsun ili Çarşamba ilçesi örtüaltı sebze yetiştiricilerinin kullandıkları bilgi kaynaklarının belirlenmesi ve tarımsal yayım açısından değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- Kurt YA., Boz İ. Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde kullanılan bilgi kaynakları: Samsun ili Çarşamba ilçesi örneği. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2021; 24(4): 895-903.
- Oğuz C., Arısoy H. Konya bölgesinde örtüaltı sebze yetiştiriciliğinin geliştirilebilirlik olanakları. Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi, 18-20 Eylül 2002, sayfa no: 63-69, Erzurum.
- Özkan B., Hatırlı SA., Öztürk E., Aktaş AR. Antalya ilinde serada domates üretiminin kâr etkinliği analizi. Tarım Bilimleri Dergisi 2011; 17(1): 34-42.
- Öztürk G., Engindeniz S. Muğla ilinde örtüaltı domates üretiminin ekonomik analizi üzerine bir araştırma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2019; 56(3): 345-358.
- Pezikoğlu F., Ergun ME. Güney Marmara bölgesinde örtü altı sebze yetiştiriciliğinin üretim ve pazarlama durumu. Bahçe Ürünlerinde Muhafaza ve Pazarlama Sempozyumu, 21-24 Ekim 1997, sayfa no: 235-242, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Yalova.
- Rad S., Yarış G. Silifke ilçesinde serada domates yetiştiren işletmelerin ekonomik performansları ve birim ürün maliyetleri. Tarım Bilimleri Dergisi 2005; 11(1): 26-33.
- Sevgican A., Tüzel Y., Gül A., Eltez RZ. Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliği. Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, 2000, Cilt: 2, sayfa no: 679-707, Ankara.
- Tüzel Y., Gül A., Daşgan HY., Öztekin GB., Engindeniz S., Boyacı HF. Örtü altı yetiştiriciliğinde değişimler ve yeni arayışlar. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, 2015, sayfa no: 685-709, Ankara.
- Yalçın M., Boz İ. Kumluca ilçesinde seralarda üreticilerin kullandıkları bilgi kaynakları 2007; Bahçe, 36(1): 1-10.
- Yamane T. Örneklem yöntemleri (Çeviri): Esin A, Aydın C, Bakır MA, Gürbüzler E. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü; 2001.

Dağıtım Sistemlerinde En Uygun Sayaç Yönetimi İçin Ekonomik İdari Kayıp Seviyesinin Belirlenmesi

Salih YILMAZ¹, Mahmut FIRAT^{2*}, Abdullah ATEŞ³, Özgür ÖZDEMİR⁴

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

³İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya

⁴Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri

¹<https://orcid.org/0000-0002-3206-1225>

²<https://orcid.org/0000-0002-8010-9289>

³<https://orcid.org/0000-0002-4236-6794>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-0573-9221>

*Sorumlu yazar: mahmut.firat@inonu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.04.2022

Kabul tarihi: 07.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İçme suyu dağıtım sistemi

Su kayıpları

İdari kayıplar

Sayaç hatası

Ekonomik kayıp seviyesi

ÖZ

Yasal abone sayaç hataları ve kaçak kullanımlardan oluşan idari kayıplar kurumlar için doğrudan gelir kaybı olarak ifade edilmektedir. İdareler sayaçlardan kaynaklanan kayıpların azaltılması için 10 yaşını doldurmuş sayaçları değiştirmektedir. Ancak idari kayıplarla mücadelede idare için en uygun yöntemler tespit edilmelidir. Bu nedenle her bir yöntem için maliyet ve fayda analizleri detaylıca yapılmalı, ardından strateji belirlenmelidir. Bu çalışmada en uygun sayaç yönetimi için idari kayıpların ekonomik olarak azaltılabileceği en uygun seviyenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle sayaç yönetim bileşenleri için fayda maliyet analiz standardı tanımlanmıştır. En uygun kayıp seviyesinin analizi için optimizasyon algoritması esas alınarak bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen metodoloji 3 pilot bölgede uygulanmıştır. Seçilen bu bölgelerde sayaçların değiştirilmesi veya kalibre edilmesi ile elde edilecek muhtemel faydalar ve maliyetler detaylıca analiz edilmiştir. Böylece su kayıplarıyla mücadelede sayaç yönetimi ile elde edilecek faydalı debiler tespit edilmiştir.

Determination of Economic Apparent Loss Level for Optimal Meter Management in Distribution Systems

Research Article

Article History:

Received: 22.04.2022

Accepted: 07.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Water distribution systems

Water losses

Apparent losses

Meter inaccuracy

Economic loss level

ABSTRACT

Apparent losses due to authorized customer meter inaccuracies and illegal usage are expressed as direct income losses for administrations. The Administrations replaced the meters that are over 10 years old in order to reduce the losses due to water meter inaccuracies. However, the most appropriate methods for administration should be determined in the management of apparent losses by developing a strategy. For this reason, cost and benefit analyzes should be made in detail for each method, and then the strategy should be determined. In this study, it is aimed to determine the most appropriate level at which apparent losses can be economically reduced for the most appropriate meter management. For this, a cost-benefit analysis standard for meter management components was defined. A methodology was developed based on the optimization algorithm for the analysis of the most appropriate loss level. The developed methodology was implemented in 3 pilot regions. The possible benefits and costs of replacing or calibrating the meters in these

selected regions are analyzed. Thus, useful flow rates that can be obtained with meter management in water loss management were determined.

To Cite: Yılmaz S., Fırat M., Ateş A., Özdemir Ö. Dağıtım Sistemlerinde En Uygun Sayaç Yönetimi İçin Ekonomik İdari Kayıp Seviyesinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 342-353.

1. Giriş

Dağıtım sistemlerinde sızıntılar (fiziki kayıplar), sayaç hatalarından kayıplar ve kaçak kullanımlar (idari kayıplar) şeklinde doğrudan su ve finansal verimsizliğe neden olan kayıplar gözlenmektedir. Bu kayıplardan fiziki kayıplar, isale hattı, dağıtım sistemi ve bağlantı elemanlarındaki sızıntıları içermektedir (Farley ve ark., 2008). Diğer taraftan idari kayıplar, kullanıcılar tarafından tüketilen ancak ücreti alınamayan suyu ifade etmekte ve idareler için doğrudan gelir kaybına neden olmaktadır (Xin ve ark., 2014; Yılmaz, 2017). İdari kayıpların bileşenleri genel olarak, sayaç hatalarından kaynaklanan kayıplar (eksik okuma ya da hiç okuma yapmama şeklinde), kaçak kullanımlar ve kayıtsız abone tüketimleri şeklindedir (Lambert ve ark., 1999; Farley ve ark., 2008; Cabrera ve ark., 2013). Bu bileşenlerin azaltılması, önlenmesi ve kontrol altına alınması ile idareler için birim su satış bedeli üzerinden doğrudan gelir artışı söz konusudur. Abone sayaçlarında, sayacın yanlış montajı, yanlış tip ve sınıf seçimi, müdahaleler, su kalitesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı arızalar meydana gelmekte ve Gelir Getirmeyen Su (GGS) oluşmaktadır (Pearson ve Trow, 2005; Fanner ve ark., 2007; Sharma ve ark., 2009). Literatür incelendiğinde idari kayıpların azaltılması, izlenmesi ve önlenmesi kapsamında çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Seago ve ark., 2005; Cabrera ve ark., 2013; Mesquita ve Ruiz, 2013; Yılmaz, 2017; Alvisi ve ark., 2019).

İdari kayıpların azaltılması için, idarelerde güncel ve sahada adres eşleştirilmesi yapılmış bir abone bilgi yönetim sistemi ve düzenli bir sayaç veri tabanının olması, abone ve sayaç verilerin sistematik izlenebilir yapıda olması, sayaç hata oranlarının yıllık düzenli belirlenmesi, sayaç yönetimi için ekonomik analizin yapılması gerekir. Ayrıca bu analizler esas alınarak sayaç yenileme için öncelikli bölgelerin belirlenmesi, sayaç yenilemedeki sayaç değişim maliyetinin azaltılması ve sayaç hatalarından kaynaklı gelir kaybının azaltılması için fayda sağlamaktadır (Seago ve ark., 2005; Yılmaz, 2017). Seago ve ark. (2005) idari kayıpların büyüklüğünü tahmin etmek için yasadışı kullanım, sayaç hataları ve okuma hatalarını hesaplamışlar ve sınıflandırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda yıllık idari kayıpların toplam kayıplara oranının %25'e yakın olduğu öngörülmüştür.

Cabrera ve ark. (2013) dağıtım sistemlerine verilen, yasal aboneler tarafından tüketilen ancak ücreti alınamayan suyun idareler için doğrudan gelir kaybı anlamı taşıdığını vurgulamıştır. Bunun için standart su dengesi tablosunda yer alan idari kayıpların alt bileşenleri analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde sayaç hataları üzerinde sayaç tipinin ve boyutunun oldukça etkili olduğu ifade edilmiştir. Fontanazza ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada farklı kalibrasyon senaryolarının sayaç hata oranlarına etkisi incelenmiştir. Buna göre 10 yaşından daha büyük konut sayaçlarında hata oranının yaklaşık %33 seviyesinde olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu sayaçların bir defa kalibrasyon sürecinden geçmesinden sonra %29 hata oranı gözlemlendiği, aynı sayacın ikinci defa kalibrasyon yapılması durumunda %20 hata olduğu ifade edilmiştir. Diğer taraftan 10

yaşından büyük tüm sayaçların değiştirilmesiyle hata oranının %5,5 seviyesinde olacağı belirtilmiştir. Fontanazza ve ark. (2015), yasal abone sayaçlarındaki hataların oluşmasında en temel faktörlerin sayaç yaşı ve konutlardaki su depolarının olabileceğini değerlendirmiş ve bunun için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, sayaç yaşı, işlem basıncı, abone tüketim karakteristiğinin kayıplar üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Arregui ve ark. (2015), yasal abone sayaçlarından kaynaklanan kayıplar ve bunlar üzerindeki etkili faktörleri incelemişler ve abone tüketim davranışının idari kayıplara olan etkisini analiz etmişlerdir. Yapılan değerlendirmelerde sayaç tipi ve modelinin ve tüketim davranışının etkili faktörler olduğu belirtilmiştir. Tanverakul ve Lee (2015), yaptığı çalışmada, abone tüketimlerinin düzenli ölçümünün su tüketim davranışı üzerine etkini incelenmiştir. Bunun için 6 ay boyunca su tüketimleri izlenmiş, düzenli ölçüm yapılan abonelerde tüketimde azalma olduğu belirlenmiştir. Su kayıplarının azaltılması ve kontrol edilmesi için uygulanan yöntem ve süreçler idareler için doğrudan ekonomik maliyetler doğurmaktadır. Dağıtım sistemlerinde ideal kayıp yüzdeleri belirlenirken bölgesel bazı değerlendirme yapılması ve evrensel kabullerden ziyade mevcut şebekenin durumu, ekonomik koşullar, yerel maliyetler, faydalar, mühendislik parametreleri ve diğer faktörler göz önünde bulundurulması daha gerçekçi yaklaşım sunacaktır (Deidda ve ark., 2014).

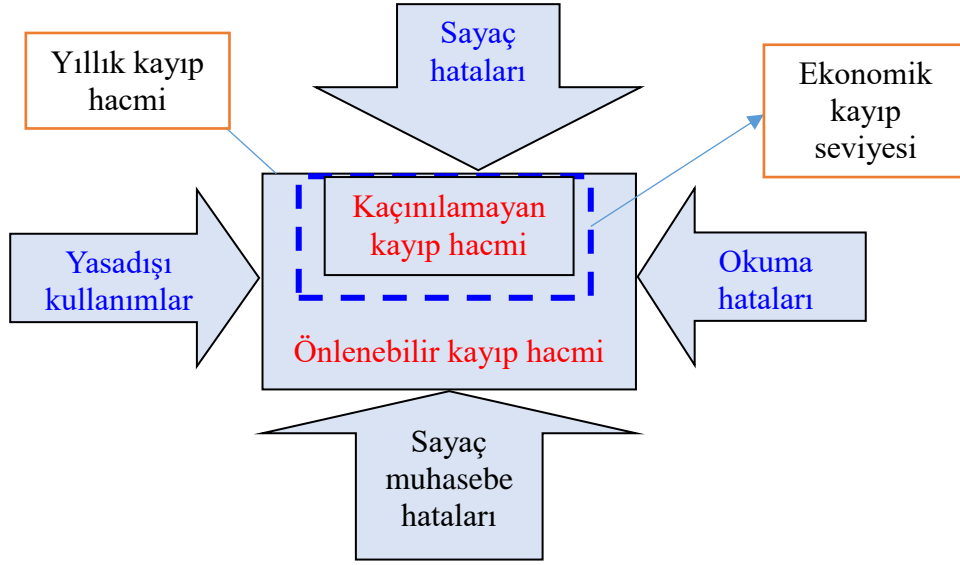
Bu çalışmada en uygun sayaç yönetimi için idari kayıpların ekonomik olarak azaltılabileceği en uygun seviyenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle sayaç yönetim bileşenleri için fayda maliyet analiz standardı tanımlanmıştır. En uygun kayıp seviyesinin analizi için optimizasyon algoritması esas alınarak bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen metodoloji 3 pilot bölgede uygulanmıştır. Seçilen bu bölgelerde sayaçların değiştirilmesi veya kalibre edilmesi ile elde edilecek muhtemel faydalar ve bu kapsamda meydana gelecek olan maliyetler detaylıca analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda su kuruluşlarının su kayıplarıyla mücadelede sayaç yönetimi ile elde edebileceği faydalı debiler tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Su kayıplarını değerlendirmek amacıyla çok farklı terminoloji, hesaplama aracı, model, gösterge, indis vb. kullanılmaktadır. Gelir getirmeyen su ve alt bileşenlerinin belirli bir sistematik ve terminoloji ile izlenmesi amacıyla uygulanan en temel araçlardan biri Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen “*standart su dengesi*” gösterilebilir (Lambert ve ark., 1999; Pearson, 2019). Ülkemizde, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 8 Mayıs 2014 tarihinde “*İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su kayıplarının Kontrolü*” yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu yönetmelikte, idarelerde sisteme verilen su hacminin, tüketimlerin, gelir getirmeyen su ve alt bileşenlerinin izlenmesi ve kaynakların verimli bir şekilde planlanması ve süreç içindeki değişimlerin izlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra, 31 Ağustos 2019, Resmi Gazete 30874 sayılı yönetmelik ile değerler güncellenmiştir. Bu kapsamda, Büyükşehir ve il belediyeleri su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına

kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar %25 düzeyine indirmekle yükümlüdür.

İdari kayıplar aboneler tarafından tüketilen fakat ücreti alınamayan su olarak adlandırılmaktadır. İdari kayıplar temelde 3 başlıkta incelenmektedir (Criminisi ve ark., 2009; Candelieri ve ark., 2015) (Şekil 1). Sayaç hataları, abonelerin sayaçlarında meydana gelen arızalar, eksik okumalar veya hiç okuma yapılamaması gibi faktörler önemli kayıplara neden olmaktadır. Sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların azaltılması için, belli bir program çerçevesinde denetim yapılması, kalibrasyon sorunu olan sayaçların kalibrasyonunun yapılması vb. süreçlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. İdari kayıp bileşenleri ve ekonomik kayıp seviyesi

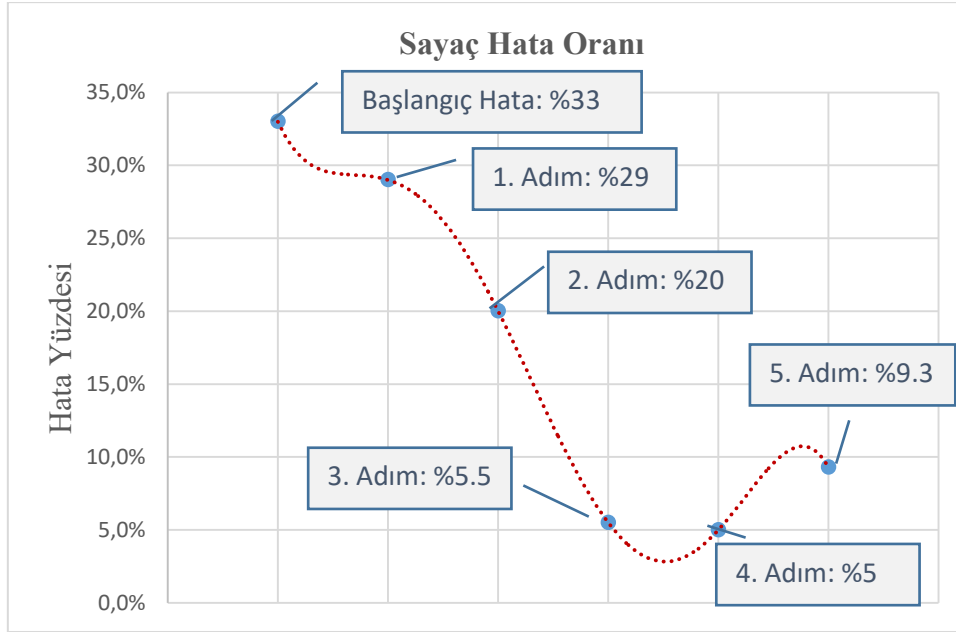
İdari kayıpların yönetilmesinde yaşanan sorunlar temel olarak şu şekilde verilebilir (Yılmaz, 2021);

- Abone Bilgi Yönetim Sisteminde (ABYS) sayaç karakteristiklerinin izlenememesi, bu tür verilerin Coğrafi Bilgi Sistemler (CBS) ile entegrasyonunun yapılamaması-konumsal olarak sayaç verilerinin izlenememesi,
- ABYS verileri ile saha verilerinin örtüşmemesi, sistematik olarak hata oranlarının belirlenmemesi-bölgesel olarak hata oranlarının izlenmemesi,
- Sayaç hata oranlarına göre değiştirme politikasının olmaması, sayaç yönetim sistemi ve stratejisinin olmaması, sayaç değiştirilecek bölgelerin belirlenememesi, CBS ile izlenememesi.

İdari kayıplar, hizmet gelirleri olmamasına karşın üretim maliyetleri yaratmaktadır. Bu nedenle idari kayıplar için maliyet hesapları yapılırken suyun satış fiyatı üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. İdari kayıpları azaltmak birçok durumda fiziki kayıpların azaltılması için harcanan maliyetlere nispeten daha düşük maliyetlidir. Bu nedenle su idareleri için daha hızlı sonuç alınabilen daha ekonomik mücadeleler olduğundan öncelikli olarak tercih edilmektedir.

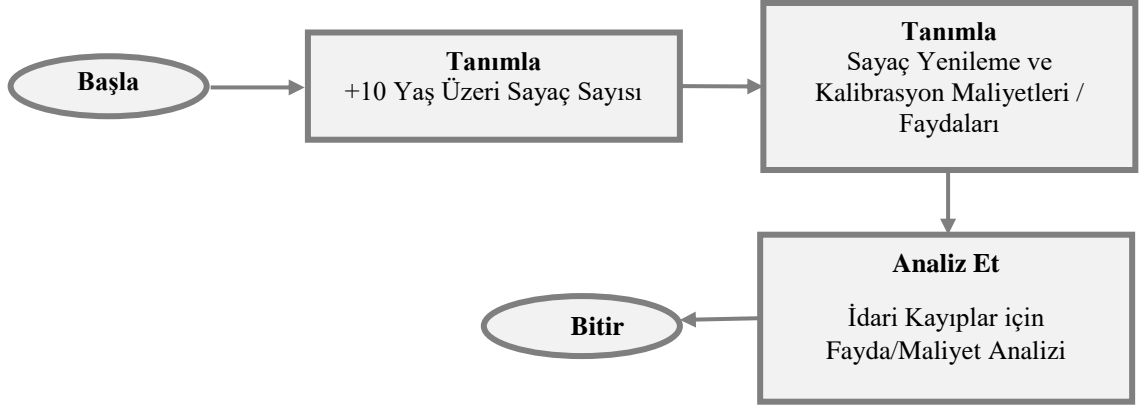
Literatür çalışmaları incelendiğinde sayaç hatalarından kaynaklanan kayıpların daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için sistematik sayaç yönetim planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmaktadır (Pearson ve Trow, 2005; Fanner ve ark., 2007; Sharma ve ark., 2009). Hatalı ölçüm

nedeniyle faturalandırılmayan su miktarının ve arızalı sayaçların değiştirilmesi ile elde edilecek kâr oranının belirlenmesi için iki farklı yol izlenebilir; (i) ilgili bölgedeki ortalama sayaç yaşı bilgisi istenerek, +10 yaşı geçmiş sayaçların değiştirilmesi ile edilecek maliyet/ kâr oranı bulunabilir, (ii) +10 yaşındaki sayaçların bölgedeki sayaçlara göre yüzdesel oranı istenerek maliyet / kâr analizi yapılabilir. Fontanazza ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada farklı kalibrasyon senaryolarının sayaç hata oranlarına etkisi incelenmiştir. Buna göre 10 yaşından daha büyük konut sayaçlarında hata oranının yaklaşık %33 seviyesinde olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu sayaçların bir defa kalibrasyon sürecinden geçmesinden sonra %29 hata oranı gözlemlendiği, aynı sayacın ikinci defa kalibrasyon yapılması durumunda %20 hata oluştuğu ifade edilmiştir. Diğer taraftan 10 yaşından büyük tüm sayaçların değiştirilmesiyle hata oranının %5,5 seviyesinde olacağı belirtilmiştir.



Şekil 2. +10 Yaş Sayaçların Arıza Oranları (Fontanazza ve ark., 2015)

En uygun sayaç yönetimi için farklı sayaç değişim ve test süreçleri esas alınarak her bir koşul için fayda ve maliyetler hesaplanır. Buna göre her bir senaryo durumu için maliyetlerin yanı sıra ve elde edilecek potansiyel kazanımlar da tanımlanmış olacaktır. Bu çalışmada, abone sayaç maliyetinin hesaplanması için kullanılması gereken akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu akış diyagramında kullanılan Matlab kodları oluşturulmuştur. Akış diyagramındaki işlem basamakları Matlab ortamında oluşturulan kodlara göre çalışmaktadır.



Şekil 3. Abone Sayaç Yönetimi Maliyet Analizi İçin Akış Diyagramı

Detayları anlatılan sayaç rehabilitasyon senaryoları için fayda maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Böylelikle sayaç kalibrasyon ve değişim seçeneklerinin her biri için fayda ve maliyet analizleri yapılmış ve algoritmaya fayda/maliyet oranı en yüksek opsiyonun seçilmesi sağlanmıştır. Yılmaz (2021) tarafından içme suyu dağıtım sistemlerinde fiziki ve idari kayıpların azaltılmasında ekonomik kayıp seviyesinin tanımlanması amacıyla yeni bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmada fiziki ve idari kayıp bileşenleri için ayrı ayrı olmak üzere ekonomik olarak azaltılabilecek kayıp oranları hesaplanmakta ve seviye tanımlanmaktadır. Bu algoritma için yapay zeka optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Bu çalışmada da Yılmaz (2021) tarafından önerilen ve en uygun sayaç yönetimi için referans oluşturan optimizasyon tabanlı algoritma kullanılmıştır.

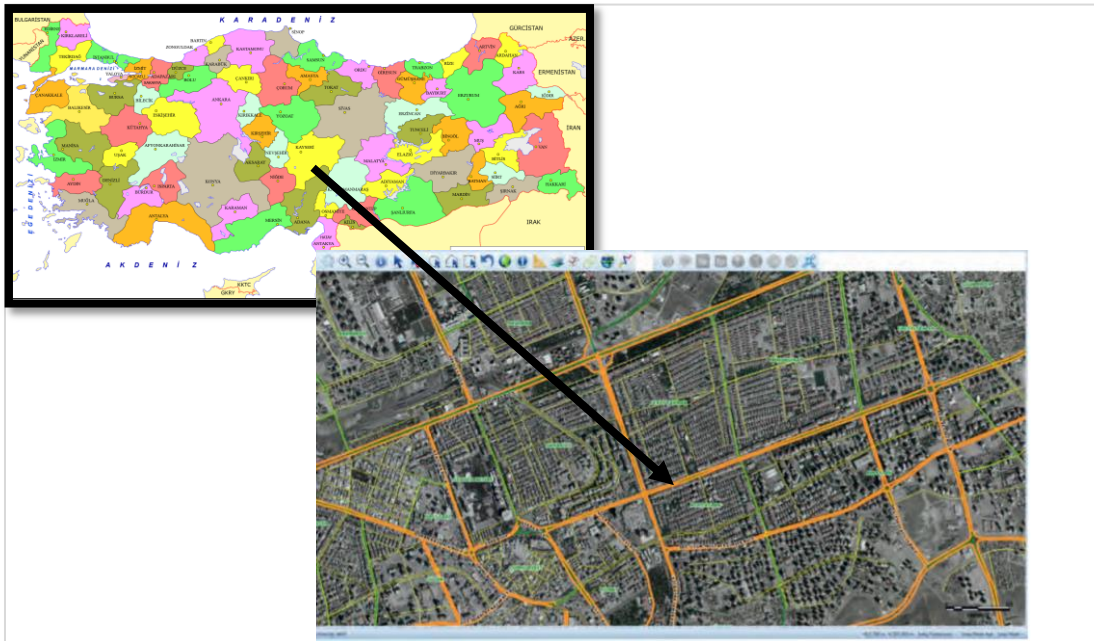
3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde önceki bölümde bahsedilen optimizasyon modeli gerçek saha problemine uygulanmıştır. Bu kapsamda Kayseri Su İdaresi hizmet alanında yer alan üç (3) adet izole ölçüm bölgesi pilot uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanı Türkiye'nin orta Anadolu bölgesinde yer almakta olup toplam şebeke uzunluğu 4200 km, toplam abone sayısı yaklaşık 550 000 civarındadır (KASKİ, 2020). Uygulama alanında 2018-2020 yılları arasında aktif kaçak kontrolü faaliyetleri yürütülmekte ve izole bölgeler oluşturulmaktadır. İzole bölgelerde su dengesi, debi basınç izleme ve minimum gece debisi izlemesi yapılmaktadır. Bunun için öncelikle izole bölgelere ait temel veriler saha ölçümlerine göre temin edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Pilot izole bölgelerde temel veriler

| İdari Bilgiler | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 |
|---|-------------------|-------|-------|-------|
| Toplam Şebeke Uzunluğu | km | 10,0 | 5,0 | 18 |
| Toplam Abone Sayısı | adet | 2478 | 1420 | 2225 |
| Toplam Abone Bağlantısı Sayısı | adet | 498 | 529 | 360 |
| Sistemin Bölgesel Ortalama Gece Basıncı | m | 61 | 60 | 66 |
| Sistem Giriş Debisi | l/s | 8,04 | 10,22 | 24,97 |
| Tahakkuk Edilen Su Miktarı | l/s | 4,05 | 6,54 | 9,5 |
| Ortalama Birim Su Satış Fiyatı | TL/m ³ | 3,56 | 2,91 | 2,91 |
| 10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Toplam | % | 55,33 | 30,56 | 47,06 |
| Sayaçlara Oranı | | | | |
| Gelir Getirmeyen Su | l/s | 3,99 | 3,68 | 15,47 |
| Gelir Getirmeyen Su Oranı | % | 49,63 | 36,01 | 61,95 |
| İdari Kayıp Debisi | l/s | 0,798 | 0,736 | 1,309 |

İçme suyu dağıtım sistemlerinde sayaç yönetimi amacıyla bölgeler incelendiğinde en önemli iki unsurun, abone/sayaç sayısı ile 10 yaşından yaşlı sayaçların toplam sayaçlara oranı olduğu söylenebilir. Bölgedeki mevcut idari kayıplar ve önlenmesi gereken muhtemel kayıplar bu iki değişken ile hesaplanmaktadır. Bu kapsamda 3 DMA bölgesi incelendiğinde DMA1 ve DMA3 bölgelerinin abone sayılarının birbirlerine yakın oldukları, DMA2 bölgesinde ki abone sayısının da gerek bölgenin toplam uzunluğuna bağlı olarak gerekse bölgedeki yapıların sıklığına bağlı olarak daha az olduğu görülmektedir. Yine 10 yaşını geçmiş sayaçların toplam sayaçlara oranı incelendiğinde her 3 bölgede de oranların çok yüksek (%55, %31 ve %47) olduğu görülmektedir. Sayaçlar için 10 yaşından sonra hatalı ölçüm yapma oranının %33'e kadar yükselebileceği düşünüldüğünde (Fontanazza ve ark., 2015), bu bölgeler için ciddi idari kayıpların varlığından söz edilebilir. Yine bu bölgelerde GGS oranının da her 3 bölge için çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu eldeki verilerle söz konusu DMA bölgelerinde su kayıp azaltma çalışmaları yapılması gerekliliği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 2. Kayseri Uygulama Alanı ve Pilot İzole Bölgeler (KASKİ, 2020)

Tablo 1'deki verilere göre 10 yaşından yaşlı sayaçların oranı %30'dan daha fazladır. Tablo 1'deki veriler kullanılarak her bir izole bölgede mevcut koşullara göre sayaçların kalibrasyon maliyetleri analiz edilmiştir. Ayrıca yine mevcut verilere göre izole bölgelerde sayaç yenileme maliyetleri ve faydaları hesaplanmıştır (Tablo 2). İlgili verilerin işlenmesinin ardından ekonomik kayıp seviyesinin belirlenmesi için optimizasyon analizleri yapılmıştır.

Tablo 2. Pilot bölgelerde Sayaç Kalibrasyon ve Yenileme Maliyetlerinin Analizi

| Verilerin Girilmesi | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 | Açıklama |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|---|
| Toplam Abone Sayısı | adet | 2478 | 1420 | 2225 | |
| 10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Tüm Sayaçlara Oranı | % | 55 | 31 | 47 | |
| Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim | m3 | 130200 | 210468 | 305616 | Veri girişi |
| Su Satış Fiyatı | TL / m3 | 3,56 | 2,91 | 3,68 | |
| Sayaç Değişim Bedeli | TL/adet | 145,00 | 145,00 | 145,00 | |
| Sayaç Kalibrasyon Bedeli | TL/adet | 10,08 | 10,08 | 10,08 | |
| Hata Oranlarının Tanımlanması | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 | |
| 10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Hata Oranı | % | 33,00 | 33,00 | 33,00 | |
| 1. Kalibrasyon Sonucu Hata Oranı | % | 29,00 | 29,00 | 29,00 | Fontanazza ve ark. (2014) çalışması referans alınarak hesaplanmıştır. |
| 2. Kalibrasyon Sonucu Hata Oranı | % | 20,00 | 20,00 | 20,00 | |
| Değişim Sonucu Oluşacak Hata Oranı | % | 5,50 | 5,50 | 5,50 | |
| 1. Kalibrasyon Fayda / Maliyet | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 | |
| Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi | m3/2 yıl | 8.550,4 | 7.679,8 | 17.150,9 | Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. |
| Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti | TL | 30.439,5 | 22.348,4 | 63.115,6 | |
| Kalibrasyon Maliyeti | TL | 13.738,0 | 4.374,2 | 10.541,1 | |
| 2. Kalibrasyon Fayda / Maliyet | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 | |
| Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi | m3/2 yıl | 27.788,9 | 24.959,6 | 55.740,7 | Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. |
| Kalibrasyon Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti | TL | 98.928,6 | 72.632,4 | 205.125,8 | |
| Kalibrasyon Maliyeti | TL | 27.476,0 | 8.748,4 | 21.082,3 | |
| Sayaç Değişim Fayda / Maliyet | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 | |
| Sayaç Değişim Sonucu Elde Edilecek Fayda Debisi | m3/2 yıl | 58.784,3 | 52.799,2 | 117.913,0 | Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır. |
| Sayaç Değişim Sonucu Elde Edilecek Fayda Maliyeti | TL | 209.272,2 | 153.645,6 | 433.919,9 | |
| Sayaç Değişim Maliyeti | TL | 197.620,5 | 62.923,0 | 151.633,7 | |

Su yönetiminde etkili bir sayaç yönetimi için yapılması gereken ilk unsur maliyet hesaplarının belirlenmesidir. Bu kapsamda ilk olarak sayaç değiştirme bedeli ile sayaç kalibrasyon bedellerinin algoritmaya tanımlanması gerekmektedir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda sayaç değişim bedelinin ortalama 145 TL/adet, kalibrasyon bedelinin ise ortalama 10,08 TL/adet olduğu

hesaplanmıştır. Maliyet unsurlarının algoritmaya tanımlanmasının ardından artık 10 yaşından büyük sayaçların adetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü kayıp azaltma stratejileri bu bahsedilen sayaçların değiştirilmesi veya kalibre edilmesiyle elde edilecektir.

10 yaşından yaşlı sayaç adetlerinin de tespitiyle beraber artık sistem için maliyet unsurları (değiştirme ve kalibrasyon) hesaplanabilir olacaktır. Fontanazza ve ark. (2015) yaptığı çalışmada 10 yaşından yaşlı sayaçların yaklaşık olarak %33 eksik ölçtüğünü, kalibre edilmeleriyle bu oranın %29 ve %20'ye düşürülebileceğini, sayacın değiştirilmesiyle de %5,5 hata seviyesine indirilebileceğini ortaya koymuştur. Bu aşamada sistemde bulunan her +10 yaş sayacın %33 hatalı ölçüm yaptığı, 1. Kalibrasyon ile %29'a, 2. Kalibrasyon ile %20'ye, değiştirilmesi ile de %5,5 hata oranına indirileceği varsayımı ile tahakkuk debisi üzerinden elde edilebilecek faydalı debiler hesaplanmış ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Yapılan hesaplamalar ile 1 kez kalibre edilme durumu, 2 kez kalibre edilme durumu ve sayacın değiştirilmesi durumlarında oluşacak maliyet tutarları ile elde edilmesi muhtemel faydalar bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda sayaç sayısı, tahakkuk debisi ve 10 yaşından büyük sayaçların tüm sayaçlara oranlarına bağlı olarak her bir DMA için farklı durumlarda maksimum faydanın elde edileceği görülmüştür. Örnek olarak DMA1 bölgesi için en büyük faydanın sayacın 2. kez kalibre edilmesiyle elde edileceği görülürken (yaklaşık 71500,00 TL), DMA3 bölgesinde 10 yaşından yaşlı sayaçların değiştirilmesiyle diğer yöntemlere göre daha fazla fayda edileceği (yaklaşık 282000,00 TL) görülmüştür.

Bu durum sayaçlar için her zaman değiştirmenin en iyi çözüm olmadığını, bölgenin özelliklerine bağlı olarak kalibrasyon yöntemiyle de ciddi faydalar elde edileceği görülmüştür. Aynı zamanda eğer su idaresinin bütçe kısıtı olması durumunda, yine farklı 3 durum için tercih yapılabilmesine imkan sunulmuş olacaktır. Örnek vermek gerekirse DMA3 bölgesi için sayaç değişimi en iyi faydayı sağlayan yöntem olabilir. Ancak idarenin eğer bu strateji için ayıracak 151.633,07 TL'si yok ise bir diğer düşük maliyetli (21.000,00 TL) kalibrasyon yöntemini seçerek elde edebileceği faydalı debileri ve kazançlarını hesaplayabilmektedir. Hesaplanan optimum değerler doğrultusunda her bir kayıp azaltma yöntemi için muhtemel elde edilmesi planlanan kazanç debileri Tablo 3'te sunulmuştur. Hesaplanan değerler ilgili yöntemlerle elde edilebilecek maksimum faydalı debiyi ifade etmektedir.

Tablo 3. DMA Bölgeleri İçin Kazanç Debileri

| İdari Bilgiler | Birim | DMA1 | DMA2 | DMA3 |
|---|---------------------|----------|----------|----------|
| Sistem Giriş Debisi | l/s | 8,04 | 10,22 | 24,97 |
| Tahakkuk Edilen Su Miktarı | l/s | 4,05 | 6,54 | 9,5 |
| Ortalama Birim Su Satış Fiyatı | TL/m ³ | 3,56 | 2,91 | 2,91 |
| 10 Yaşından Yaşlı Sayaçların Toplam Sayaçlara Oranı | % | 55,33 | 30,56 | 47,06 |
| Sayaç Yönetimi Faydalı Debi | l/s | 0,45 | 0,85 | 1,89 |
| Sayaç Yönetimi Faydalı Debi | m ³ /gün | 38,60 | 73,05 | 163,77 |
| Sayaç Yönetimi Faydalı Debi | m ³ /ay | 1.157,87 | 2.191,63 | 4.913,04 |

Yapılan hesaplamalar sonucunda her bir bölge için elde edilmiş olan en faydalı sayaç yönetim şekli seçilmiş ve elde edilecek faydalar Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen faydalı debilerin sisteme kazandırılmasıyla beraber Tablo 3 incelendiğinde GGS su oranlarının yaklaşık olarak %15 ile %25 oranlarında azaltılabileceği görülmektedir. Su idareleri için idari kayıplar ile mücadele; sonuçları doğrudan kazanım olarak döndüğünden sıklıkla kullanılan bir metottur. İdari kayıpların azaltılmasıyla hem doğrudan gelir artırılırken hem de GGS oranlarında ciddi azalmalar sağlanabilmektedir. Bu nedenle su kuruluşları idari kayıplarla mücadeleyi de belli bir sistematik program çerçevesinde gerçekleştirerek en etkili fayda yöntemlerini tespit etmelidir.

4. Sonuç

Bu çalışmada dağıtım sistemlerinde en uygun sayaç yönetimi için ekonomik idari kayıp seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 3 adet izole ölçüm bölgesi pilot uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bunun için öncelikle izole bölgelere ait temel veriler saha ölçümlerine göre temin edilmiştir. Uygulama alanındaki 3 bölge incelendiğinde DMA1 ve DMA3 bölgelerinin abone sayılarının birbirlerine yakın oldukları, DMA2 bölgesinde ki abone sayısının da gerek bölgenin toplam uzunluğuna bağlı olarak gerekse bölgedeki yapıların sıklığına bağlı olarak daha az olduğu görülmektedir. Yine 10 yaşını geçmiş sayaçların toplam sayaçlara oranı incelendiğinde her 3 bölgede de oranların çok yüksek (%55, %31 ve %47) olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde GGS oranının çok yüksek olduğu görülmüştür. Algoritma ile 1 kez kalibre edilme durumu, 2 kez kalibre edilme durumu ve sayacın değiştirilmesi durumlarında oluşacak maliyet tutarları ile elde edilmesi muhtemel faydalar bulunmuştur. Yapılan hesaplamalarda sayaç sayısı, tahakkuk debisi ve 10 yaşından büyük sayaçların tüm sayaçlara oranlarına bağlı olarak her bir DMA için farklı durumlarda maksimum faydanın elde edileceği görülmüştür. Elde edilen faydalı debilerin sisteme kazandırılmasıyla beraber GGS su oranlarının yaklaşık olarak %15 ile %25 oranlarında azaltılabileceği görülmüştür. Su idareleri için idari kayıplar ile mücadele sonuçları doğrudan kazanım olarak döndüğünden sıklıkla kullanılan bir metottur. İdari kayıpların azaltılmasıyla hem doğrudan gelir artırılırken hem de GGS oranlarında ciddi azalmalar sağlanabilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Salih YILMAZ tarafından yapılan Doktora tezinden üretilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (FDK 2020-2053) teşekkür 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

- Alvisi S., Luciani C., Franchini M. Using water consumption smart metering for water loss assessment in a DMA: a case study. *Urban Water Journal* 2019; 18(1): 77–83.
- Arregui F., Balaguer M., Soriano J. Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. *Urban Water Journal* 2015, 12: 1–13.
- Cabrera E., Pardo MA., Cabrera E., Arregui FJ. Tap water costs and service sustainability, a close relationship. *Water Resources Management* 2013, 27(1): 239–253.
- Candelieri A., Soldi D., Archetti F. Cost-effective sensors placement and leak localization – the Neptun pilot of the ICeWater Project. *Journal of Water Supply: Research and Technology* 2015; 64(5): 567–582.
- Criminisi A., Fontanazza CM., Freni G., Loggia GL. Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology* 2009; 60: 2373–2383.
- Deidda Deidda D., Sechi GM., Zucca R. Finding economic optimality in leakage reduction: A cost-simulation approach for complex urban supply systems. *Procedia Engineering* 2014; 70: 477–486.
- Fanner P., Thornton J., Liemberger R., Sturm R. Evaluating water loss and planning loss reduction strategies. In *Awwa Research Foundation*. 2007.
- Farley M., Wyeth G., Ghazali ZBM., Istandar A., Singh S. *The manager’s non-revenue water handbook. A Guide to Understanding Water Losses*. 2008
- Fontanazza CM., Notaro V., Puleo V., Freni G. The apparent losses due to metering errors: a proactive approach to predict losses and schedule maintenance. *Urban Water Journal* 2015; 12(3): 229–239.
- Lambert AO., Brown TG., Takizawa M., Weimer D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* 1999; 48(6): 227–237.
- Mesquita AM., Ruiz M. A financial economic model for urban water pricing in Brazil. *Urban Water Journal* 2013; 10(2): 85–96.
- Pearson D, Trow SW. Calculating the economic levels of leakage. *Leakage 2005 Conference Proceedings* 2015; 1–16.
- Pearson D. Standard definitions for water losses. In *Standard Definitions for Water Losses* 2019. <https://doi.org/10.2166/9781789060881>
- Seago CJ., McKenzie RS., Liemberger R. International benchmarking of leakage from water reticulation systems. *Proceedings from the International Water Association Specialist*

Conference: Leakage 2005, 48–61.

Sharma SK., Mutikanga HM., Vairavamoorthy K. Apparent water losses assessment: the case of Kampala City, Uganda. Proceedings of 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference 2009, 36–42.

Xin K., Tao T., Lu Y., Xiong X., Li F. Apparent losses analysis in district metered areas of water distribution systems. Water Resources Management 2014; 28: 683–696.

Yılmaz S. İçme suyu dağıtım sistemlerinde abone sayaçlarının analizi ve su kayıplarına etkisi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 2017.

Yılmaz S. Su kayıp yönetiminde ekonomik kaçak seviyesinin optimizasyon algoritmalarıyla belirlenmesi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 2021.

Doğu Akdeniz Bölgesi Kiraz Üretimi, Pazarlaması ve Dış Ticaret Yapısı

Seda ÇAKIR NAMDAR^{1,*}, Osman Sedat SUBAŞI², Hilal YILMAZ³, Cengiz SAĞLAM⁴, Osman UYSAL⁵,
Mehmet Ali KİRACI⁶

^{1,2}Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 33740 Erdemli- Mersin

^{3,4}Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

⁵Malatya Turgut Özal Üniversitesi, 44210, Malatya

⁶Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 59000, Tekirdağ

¹<https://orcid.org/0000-0002-5049-4614>

²<https://orcid.org/0000-0002-6507-1980>

³<https://orcid.org/0000-0003-0449-7432>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-7455-1364>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-9010-2988>

⁶<https://orcid.org/0000-0001-6604-3765>

*Sorumlu yazar: seda.cakirnamdar@tarimorman.gov.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.01.2022

Kabul tarihi: 15.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kiraz
Üretim
Pazarlama
İhracat

ÖZ

Bu çalışmada; Doğu Akdeniz bölgesinde kiraz üretiminin sosyo-ekonomik durumu, üretim, pazarlama ve dış ticaret yapıları ortaya konmuştur. Araştırma verileri, 2018-2019 üretim döneminde Mersin ve Adana illerindeki 90 kiraz üreticisinden anket yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca; dış ticaret yapısına ilişkin veriler Mersin ve Adana illerindeki 10 ihracatçı firmadan anket yoluyla toplanmıştır. Üreticilerin ortalama yaşı 57,8 yıl ve ortalama hanehalkı genişliği 3,4 kişi olarak belirlenmiştir. Ortalama işletme arazisi büyüklüğü 8,1 dekar olarak bulunmuştur. Kiraz üretimini etkileyen en önemli riskler sırasıyla; hastalık ve zararlılar, girdi fiyatlarındaki artışlar, dolu, ürün fiyatlarının değişken ve dalgalı olması, aşırı yağış ve pazarlamada yaşanan sorunlardır. Üreticilerin karşılaştıkları başlıca pazarlama sorunları, ürün kalite ve kayıpları, ürün fiyatının düşük olması, pazar yapısı ve belirsizliği, üreticiler arasında birlikteliğin olmamasıdır. En fazla 0900 Ziraat kiraz çeşidinin (Napolyon) ihraç edildiği, en önemli pazarın Rusya Federasyonu olduğu ve teslimatın çoğunlukla karayolu ile yapıldığı belirlenmiştir. Ürünün kalite ve kalibresi, ihraç fiyatının oluşmasında en önemli iki unsur olarak ortaya çıkmıştır. Rakip ülkelerin en önemli avantajları, bazı indirim ve muafiyetler, lojistik avantajlar ve üretim maliyetleri olarak belirlenmiştir.

Cherry Production, Marketing and Foreign Trade Structure in Eastern Mediterranean Region

Research Article

Article History:

Received: 10.01.2022

Accepted: 15.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Cherry
Production
Marketing
Export

ABSTRACT

In this study; The socio-economic status, production, marketing, and foreign trade structures of cherry production have been revealed in the eastern Mediterranean region. Research data were obtained from 90 cherry producers in Mersin and Adana provinces through a questionnaire in the 2018-2019 production period. In addition, data on foreign trade structure were collected through questionnaires from 10 exporter companies in Mersin and Adana provinces. It was determined that the average age of the cherry producers was 57.8 years and the average population of the household was 3.4. The

average size of the farmland was calculated to be 8.1 decares. The most important risks affecting cherry production are respectively; diseases and pests, increases in input prices, hail, variable and fluctuating product prices, excessive precipitation and problems in marketing. The main marketing problems faced by manufacturers are product quality and losses, low product prices, market structure and uncertainty, and lack of cooperation among producers. It has been determined that the most 0900 Ziraat cherry variety (Napoleon) is exported, the most important market is the Russian Federation, and the delivery is mostly made by the highway. The quality and calibre of the product have been determined as the two most important factors in the formation of the export price. The most important advantages of the rival countries were determined as some discounts and exemptions, logistics advantages and lower production costs.

To Cite: Namdar SÇ., Subaşı OS., Yılmaz H., Sağlam C., Uysal O., Kiracı MA. Doğu Akdeniz Bölgesi Kiraz Üretimi, Pazarlaması ve Dış Ticaret Yapısı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 354-368.

1.Giriş

Kiraz; dünyada çok eski zamanlardan beri yetiştiriciliği yapılan ve dünya üzerinde çok geniş bir yayılım gösteren bir meyve türüdür. Meyveleri taze veya kurutulmuş olarak tüketilebildiği gibi; reçel, sirke, konserve ya da dondurulmuş gıda olarak da değerlendirilmektedir.

Türkiye; ılıman ve subtropikal iklim kuşağı sayesinde birçok meyve çeşidinin yetiştirildiği ve dünyada meyve üretiminde önemli yeri bulunan ülkelerden biridir. Bu meyvelerden yaş meyve grubunda yer alan kirazın taze tüketilmesi, kozmetik, boya ve gıda sanayisinde kullanımı, ihracatta getirisinin yüksek olması ve istihdama katkısı açısından Türkiye ekonomisindeki önemi giderek artmaktadır.

2016-2020 yılları arasında FAO verilerine göre, Türkiye yaklaşık 651 bin ton olan beş yıllık üretim ortalaması ve toplam dünya kiraz alanlarındaki %19,6'lık payı ile dünyada liderliğini sürdürmektedir. FAO verilerine göre, Türkiye dünya ihracatında %6'lık pay ile dördüncü sırada ihracatçı konumunda yer almaktadır (FAO, 2022; ITC, 2022). Türkiye'nin dünya kiraz üretiminde ilk sırada yer almasında farklı toprak ve ekolojik özelliklerin uygunluğu, geliştirilen yeni çeşitler, hasat periyodunun geçi ve erkenci çeşitlerle uzun olması ve yurtdışında yüksek fiyattan çok talebin olması gibi faktörler sıralanabilir. Erdal ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, Türkiye'de üretilen kirazın tamamına yakınının 0900 Ziraat çeşidi olduğunu, dünyanın en önemli çeşitleri arasında yer aldığını ve Avrupa'da da "Türk Kirazı" ismiyle bilindiğini bildirmişlerdir.

Araştırmanın yürütüldüğü Mersin ve Adana illerinde kiraz üretimi 26,418 ton olup, Türkiye üretimindeki payı yaklaşık %3,8'dir. Bu illerdeki kiraz ekim alanı 27,818 da olup, Türkiye ekim alanı içindeki payı yaklaşık %3,4'dür (TÜİK, 2022). Akdeniz bölgesinin sahip olduğu mikro-klima özelliği sayesinde erkenci ve geçi kiraz çeşitleri üretilmekte olup pazara arzı Mayıs ayının ortasından Temmuz ayı ortalarına kadar sürmektedir. Bu illerde üretilen kirazın iç piyasa pazarı yanında ihracata yönelik pazarı da bulunmakta ve bölge ekonomisine katkı sağlamaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda Doğu Akdeniz Bölgesinde daha önce Emeksiz (1999), tarafından "Orta Toroslarda kiraz üretim ve ihracatını geliştirme olanakları" adlı bir çalışma yapılmış olup, çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Ancak kiraz üretimi, ekonomik analizi, pazarlaması ve dış ticaretine yönelik farklı bölge ve illerde yapılmış çalışmalar mevcuttur. Kiraz işletmelerinin ekonomik analizinde (Gül ve ark; 2020, Chakan 2021),

üretim ve pazarlamasında (Sayılı ve ark; 2016, Küçükçongar ve ark; 2016), dış ticaret yapısında (Gül ve ark 2016; Aba 2018), entegre zararlı yönetiminin ekonomik analizinde (Gül ve ark 2016).

Bu çalışmayla, Mersin ve Adana illerinde kiraz işletmelerinin yapısal özellikleri, kiraz üretim, pazarlama ve ihracat yapısı ve yaşanan sorunların ortaya konulması amaçlanmıştır. Böylece, kiraz üretim ve ihracatının sürdürülebilmesi ve geliştirilmesi yönünde önemli katkılar sağlanması yanında politika belirleyicilerinin alacağı kararlara ve bundan sonraki çalışmalara katkı sağlayacağı beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın ana materyalini, Mersin ve Adana illerinde kiraz üretiminin yoğun olarak yapıldığı ilçelerdeki (Toroslar, Çamlıyayla, Erdemli, Pozantı, Aladağ, Saimbeyli) 90 üreticiden (45 üretici Mersin, 45 üretici Adana) anket yolu ile elde edilen birincil veriler oluşturmuştur. Ayrıca, kiraz ihracatı yapan 10 ihracatçı firmanın yetkili kişileriyle anket çalışması yapılmıştır. Anket verileri 2018-2019 üretim dönemini kapsamaktadır.

Araştırmada il, ilçe ve köylerin seçimleri gayeli örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. TÜİK verileri dikkate alınarak en fazla üretimin yapıldığı 6 ilçe seçilmiştir. Ayrıca TOB (Tarım ve Orman Bakanlığı) İl ve İlçe Müdürlükleri, Ziraat Odası Başkanlıkları ve kiraz üreticileri birlikleri ile görüşmeler yapılmış, her ilçeden en fazla kiraz alanı ve üretimine sahip 3'er köy belirlenmiştir. Anketler her köyde 5'er üretici ile dolayısıyla her ilçede 15'er üretici ile anket yapılmıştır. Anket yapılan üreticiler TOB'nın Çiftçi Kayıt Sistemine (ÇKS) dâhil olan çiftçiler arasından basit tesadüfî sayılar tablosundan faydalanarak belirlenmiştir. Anket formları; benzer konularda yapılmış çalışmalardan faydalanılarak ve uzman kişilerin görüşleri alınarak araştırmanın amacına uygun olarak hazırlanmıştır.

Anket yapılan ihracatçı firmalar konu ile ilgili kurum ve kuruluşlarla yapılan görüşmeler sırasında elde edilen bilgiler doğrultusunda gayeli olarak seçilmiştir. Araştırmada, üretici anketlerinden ve ihracatçı firmalara yönelik anketlerden elde edilen verilerin analiz edilmesinde tanımlayıcı istatistikler, çapraz tablolar, frekanslar ve yüzde hesaplamalar kullanılmıştır. Üreticilerin sosyo-demografik özelliklerinin (yaş, eğitim süresi, aile birey sayısı ve tarımsal deneyim) farklılığının istatistiki olarak önemli olup olmadığını belirlemek üzere t testi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırma bulguları olarak üreticilerin sosyo-demografik özellikleri, kiraz üretim ve pazarlama yapıları ile ihracat durumu ile ilgili bulgulara yer verilmiştir.

3.1. Üreticilerin Sosyo-Demografik Özellikleri

Araştırma kapsamında ele alınan işletmelerde üreticilerin ortalama yaşı 57,8 yıl bulunmuştur. Üreticilerin büyük çoğunluğunun (%73,0) 52-81 yaş arasında yer aldığı görülmektedir. Trakya

bölgesinde yapılan bir araştırmada, kiraz üreticilerinin; 50-59 yaş grubu (%51,85) arasında olduğunu ve bölgedeki kiraz üreticilerinin ortalama yaşının yaklaşık 53 yıl olduğunu (%52,88) tespit etmişlerdir (Unakıtan ve ark. 2016).

Üreticilerin çoğunlukla ilkokul (%60,0) ve lise (%17,8) mezunları oldukları görülmektedir. Bununla birlikte yükseköğretim ve üniversite mezunu işletme sahipleri de bulunmaktadır. Sayılı ve Özbek (2016), Amasya ili Suluova ilçesinde kiraz üretimi ile ilgili yaptıkları bir çalışmada işletme yöneticilerinin çoğunlukla ilkokul ve lise mezunu olduğu, yükseköğretim ve üniversite mezunlarının da işletmeciler ve işletme sahibi olduğu belirlemiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, işletmecilerin yaş ortalaması ve eğitim durumunun konularında araştırma bulgularıyla benzerlik gösterdiği görülmektedir. Üreticilerin yaş, eğitim düzeyi, aile birey sayısı ve tarımsal deneyimlerinin farklılığının istatistiksel olarak önemli olup olmadığını tespit etmek üzere yapılan t testi sonucunda %5 (p=0,000) anlam düzeyinde farklılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Chakan (2021), tarafından Batı Trakya Bölgesinde kiraz üreten işletmelerle yapılan çalışmada, üreticilerin ortalama yaşı 52, ortalama eğitim seviyesi 5 yıl, ortalama aile birey sayısı 4, ortalama tarımsal deneyimleri 20 yıl olarak belirlenmiştir.

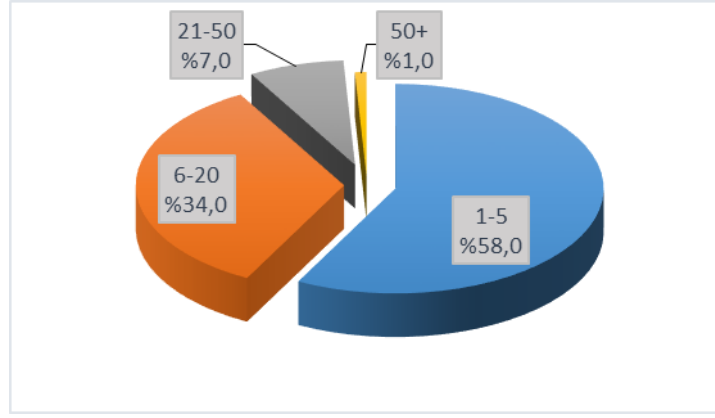
Tablo 1. Üreticilerin bazı sosyo-demografik göstergeleri

| Yaş (Yıl) | | | Eğitim Süresi (Yıl) | | | Aile Birey Sayısı (Kişi) | | | Tarımsal Deneyim (Yıl) | | |
|-----------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|--------------------------|-------------|-------|------------------------|-------------|-------|
| Ort. | Stand. Sap. | P | Ort. | Stand. Sap. | P | Ort. | Stand. Sap. | P | Ort. | Stand. Sap. | P |
| 57,8 | 13,75 | 0,000 | 6,47 | 3,24 | 0,000 | 3,44 | 1,59 | 0,000 | 29,18 | 12,83 | 0,000 |

İncelenen işletmelerde ortalama aile nüfusu 3,4 kişi, ortalama aile işgücü potansiyeli EİB (Erkek İşgücü Birimi) olarak 1,8 belirlenmiştir. Üreticilerin ortalama kiraz yetiştiriciliği deneyimleri 22,1 yıl olarak belirlenmiştir. Unakıtan ve ark. (2016), Trakya bölgesinde, ortalama kiraz yetiştiriciliği deneyimini 23,0 yıl olarak belirlemiştir. Elde edilen sonuç araştırma bulgusu ile paralellik göstermektedir. Üreticilerin %73,3' ünün sosyal güvenceye sahip olduğu, %26,7'sinin de olmadığı saptanmıştır. Üreticiler, en fazla %73,5 oranı ile Ziraat Odasına üye olup, %11,5'nin herhangi bir dernek ya da kooperatife üye olmadığı belirlenmiştir.

3.2. Üretim yapısı

İncelenen işletmelerde ortalama kiraz bahçesi büyüklüğü 8,1 da olup, %96,4'ü mülk arazidir. Kiraz bahçesi büyüklük gruplarına bakıldığında ağırlıklı (%58,0) 1-5 da arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 1). İllerin kiraz bahçesi büyüklük gruplarında ise Mersin'de ağırlıklı (%55,56) 1-5 da arasında, Adana'da da (%48,89) 6-20 da arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Kiraz bahçelerinin büyüklük grupları (%)

Araştırma bölgesinde kiraz bahçelerinde en yaygın kullanılan anaçlar İdris (%54,2) ve Kuş kirazıdır (%44,0). Türkiye’de ihracata yönelik kiraz üretimi yapılan bölgelerde kiraz plantasyonları, yaygın olarak kuş kirazı ve idris anaçlı ağaçlardan oluşmaktadır (Eryılmaz, 2010; Ergun ve Burak, 2001). En yaygın yetiştirilen çeşitlerin %75,2 ile “0900-Ziraat”, %22,0 ile “Bigarreau Napoleon” ve %2,8 ile diğer çeşitler olduğu belirlenmiştir. İşletmelerde ana çeşit olarak yetiştirilen kiraz çeşidi, Türkiye kiraz ihracatına konu olan 0900 Ziraat çeşididir (Ergun ve Burak, 2001; Demircan ve ark. 2006). İşletmelerin yaygın olarak kullandığı anaç ve çeşit seçimi literatür bilgileriyle benzerlik göstermektedir.

İncelenen işletmelerin en önemli kiraz yetiştirme nedenlerinin başında iklim ve arazinin uygunluğu, bilgi ve tecrübenin olması yer almaktadır. Kârlı olması yetiştiricilikte az önemli bulunmuştur. Sayılı ve Özbek (2016), tarafından Amasya’da yapılan benzer bir çalışmada, işletmelerin kiraz yetiştirme nedenlerinin başında, bu ürünün kârlı olması gelirken, bunu arazi ve iklimin uygun olması, kiraza yönelik pazar talebinin olması, aile işgücünün değerlendirme izlemektedir. Bu çalışmayla, Amasya’da yapılan çalışma arasında kârlılık durumu dışında kiraz yetiştirme nedenleriyle ilgili bir paralellik söz konusudur.

Çeşit seçimini etkileyen en önemli faktörün iklim ve yöreye uygunluğu belirlenmiştir. En az etkileyen faktörün ise erken hasat olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Çeşit seçimini etkileyen faktörler

| Faktörler | Ortalama* | Standart sapma |
|----------------------------------|-----------|----------------|
| İklim ve yöreye uygun olması | 4,7 | 0,60 |
| Çeşidin tanınması | 4,5 | 0,83 |
| Randımanı yüksek (iri meyveli) | 4,3 | 0,70 |
| İhracatçının talebi | 4,1 | 1,25 |
| Çatlamaya dayanıklı | 3,8 | 1,13 |
| İç piyasada tutulan çeşit olması | 3,7 | 1,35 |
| Hasadın erken olması | 2,8 | 1,26 |

*:1:Kesinlikle çok önemsiz, 2:Az önemli, 3:Orta derecede önemli, 4:Önemli, 5:Kesinlikle çok önemli

İncelenen işletmeler kiraz üretiminde birçok riskle karşı karşıya kalmaktadır. Üretici görüşlerine göre, kiraz üretimini etkileyen en önemli riskin; hastalık (çiçek monilyası (*Monilinia laxa*)) ve zararlılar

(kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi*) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Sayılı ve Özbek, (2016)'in Amasya ili Suluova ilçesinde kiraz üretimi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada kiraz üretimindeki en önemli problemin hastalık ve zararlılar olduğunu tespit etmişlerdir. Unakıtan ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, Trakya'da bulunan kiraz işletmelerinde önemli kayıplara yol açabilen fungal bir hastalık olan çiçek monilyası (*Monilinia laxa*) hastalığının; zararlı olarak ise kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi*) ve sirke sineğinin (*Drosophila suzukii*) en fazla sorun oluşturduğunu belirtmişlerdir. Araştırma sonucu, Sayılı ve Özbek (2016) ve Unakıtan ve ark. (2016) literatürlerinde elde edilen sonuçlarla benzer özellik taşımaktadır. Hastalık ve zararlılardan sonra girdi fiyatlarındaki artışlar ve 4. sırada ürün fiyatlarının değişkenliği önemli riskler olarak belirlenmiştir. Doğal riskler olan dolu ve aşırı yağıştan meydana gelen kayıplar önemli risk grubu içinde değerlendirilirken kiraz yetiştiriciliğinde tarım sigortasının gerekliliğini göstermektedir. Yine doğal risklerden don ve kuraklık orta derece, fırtına ve sel taşkınları az önemli riskler olarak dikkati çekmektedir.

Tablo 3. Kiraz üretimini etkileyen riskler hakkındaki görüşler

| Riskler | Ortalama* | Standart sapma |
|--|-----------|----------------|
| Hastalık ve zararlılar | 4,8 | 0,47 |
| Girdi fiyatlarındaki artışlar | 4,7 | 0,54 |
| Dolu | 4,6 | 0,66 |
| Ürün fiyatlarının değişken ve dalgalı olması | 4,6 | 0,65 |
| Aşırı yağış | 4,1 | 1,00 |
| Pazarlamada yaşanan sorunlar | 4,1 | 1,24 |
| Çatlama ve ikiz meyve gibi fizyolojik sorunlar | 3,9 | 1,08 |
| Ağaçlarda kuruma | 3,8 | 1,10 |
| Desteklemelerin yetersiz olması | 3,8 | 1,32 |
| Kışın soğuk geçen günlerin sayısının azalması | 3,5 | 1,09 |
| Don | 3,2 | 1,39 |
| Kuraklık | 2,8 | 1,54 |
| Arazinin küçük olması | 2,8 | 1,33 |
| Sulama suyu kaynağının yetersiz/kirli oluşu | 2,6 | 1,54 |
| Fırtına | 2,3 | 1,37 |
| Sel taşkını | 1,5 | 0,92 |
| Yangın | 1,4 | 1,01 |

*:1:Kesinlikle çok önemsiz, 2:Az önemli, 3:Orta derecede önemli, 4:Önemli, 5:Kesinlikle çok önemli

İncelenen işletmelerin %22,2'si tarım sigortası yaptırırken, çoğunluğu (%77,8) tarım sigortası yaptırmamaktadır. Üreticilerin sigorta yaptırmama nedenleri arasında gerek görmeme, primlerin yüksekliği ve hasar tespitinin uygun yapılmaması en önemlileri olarak belirlenmiştir. Bayraktar ve Saner (2016), tarafından yapılan bir çalışmada ise üreticilerin çoğunluğu %50,62'sinin tarım sigortasının karşılaştıkları riskleri karşılamadığını ve tarım sigortasına gerek duymadıklarını belirttikleri ve geri kalan üreticilerin ise buna ayıracak bütçelerinin olmadığını ifade ettikleri ortaya konulmuştur.

3.3.Pazarlama Yapısı

İncelenen işletmelerin satış fiyatını belirleme durumları incelendiğinde “Alıcı fiyatını kabul etmek zorunda kalırım” ifadesi en etkili faktör; “Maliyetimin üzerine kâr ekleyip satırım” ifadesi ise en az

etkili faktör olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Dere (2006) tarafından yapılan çalışmada, kiraz satış fiyatının belirlenmesinde üreticiler alıcının fiyatını kabul etmek zorunda kaldıkları, üreticinin satış fiyatını belirlemede etkisiz kaldığı vurgulanmıştır.

Tablo 4. Üreticilerin kiraz satış fiyatını belirleme şekli

| Kiraz satış fiyatının belirlenme şekli | Ortalama* | Standart sapma |
|---|-----------|----------------|
| Alıcının fiyatını kabul etmek zorunda kalırım | 4,2 | 1,17 |
| Piyasadaki fiyatlara bakarım | 3,8 | 1,11 |
| Alıcı ile pazarlık ederim | 3,3 | 1,34 |
| Piyasadaki talebe göre belirlerim | 2,5 | 1,60 |
| Maliyetimin üzerine kâr ekleyip satarım | 2,0 | 1,24 |

*:1:Kesinlikle katılmıyorum,2:Az katılıyorum,3:Orta derecede katılıyorum,4:Katılıyorum, 5:Kesinlikle katılıyorum

Üretilen kirazın ağırlıklı (%61,1) olarak komisyonculara ve ihracatçı firmalara (%23,0) satıldığı belirlenmiştir (Tablo 5). Demircan ve ark. (2004), Isparta ilinde yaptıkları çalışmada, işletmelerde üretilen kirazın %80,49'unun ihracatçılara, % 9,51'inin ise tüccarlara satıldığını belirtmişlerdir. Gül ve ark. (2020), 'Türkiye'de kiraz yetiştiriciliğinin ekonomik yapısının değerlendirilmesi' ile ilgili yaptıkları çalışmada pazarlama kanallarında ağırlıklı olarak ihracatçıların (%53,8) ve tüccarların (%28,4) yer aldığını belirlemiştir.

Çalışma alanında satışların %70'i peşin, %8'i vadeli, %22'si karışık (hem vadeli hem peşin) olarak yapıldığı belirlenmiştir. Vade süresi, yerine göre değişmekle birlikte en uzun 30 ve 90 gün; en kısa ise bir ve yedi gün olarak tespit edilmiştir. Gül ve ark. (2017) tarafından Isparta ve Konya'da yapılan bir çalışmada, üreticilerin %50'sinin, kirazı vadeli olarak sattığını ifade etmişlerdir. Öztürk (2010), Isparta'da kiraz üretimi ile ilgili yaptığı çalışmada, ürününü vadeli satan işletmecilerin, ürün bedelini genel olarak 1-15 gün ile 2 ay arasında aldıklarını bildirmiştir. Kirazın %92,2'si sofralık olarak kullanılmaktadır. Ürünler genellikle (%91,1) plastik kasa ile satılmakta olup, sofralık olarak satışa uygun olmayan kalitedeki kirazlar ise meyve suyu amaçlı satılmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Kirazın pazarlama kanalı, kullanım amacı ve teslim şekli

| Satış yeri | Sayı | Oran (%) |
|-------------------|------|----------|
| Komisyoncu | 55 | 61,1 |
| İhracatçı | 21 | 23,4 |
| Diğer (Halci) | 7 | 7,8 |
| Toptancı | 4 | 4,4 |
| Pazarcı | 2 | 2,2 |
| Alım Merkezi | 1 | 1,1 |
| TOPLAM | 90 | 100,0 |
| Kullanım Amacı | Sayı | Oran (%) |
| Sofralık | 83 | 92,2 |
| Meyve suyu | 4 | 4,5 |
| Cevap vermeyenler | 3 | 3,3 |
| TOPLAM | 90 | 100,0 |

| Teslim şekli | Sayı | Oran (%) |
|-------------------|-----------|--------------|
| Plastik kasa | 82 | 91,1 |
| Diğer | 4 | 4,5 |
| Cevap vermeyenler | 3 | 3,3 |
| Özel kasa | 1 | 1,1 |
| TOPLAM | 90 | 100,0 |

İncelenen işletmelerde kiraz fiyatlarının oluşmasını etkileyen en önemli unsurun; kirazın kalitesi, aracılar ve firmalar arası anlaşma olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra aracı ve firmalar arasında anlaşmanın yaygın olarak gerçekleştiği ve bu durumun genellikle üretici eline geçen fiyatları olumsuz etkilediği ifade edilmiştir. Özellikle piyasada ürün fiyatlarındaki değişkenliğin firma ya da tüccarlar arasındaki rekabet ve anlaşmalar neticesinde fiyat seviyelerinin farklılaştığı görülmektedir. (Tablo 6).

Tablo 6. Bölgede kiraz fiyatı oluşumuna etki eden unsurların dağılımı

| Kiraz fiyatının oluşmasını etkileyen faktörler | Ortalama* | Standart sapma |
|--|-----------|----------------|
| Kirazın kalitesi | 4,7 | 0,55 |
| Aracılar ve firmalar arası anlaşma | 4,1 | 1,05 |
| Piyasadaki aracı-firma sayısı | 4,0 | 1,08 |
| Kiraz üretim miktarı | 3,8 | 1,05 |
| Diğer bölgedeki kiraz fiyatları | 3,0 | 1,50 |
| Depolama olanağının bulunması | 2,9 | 1,43 |
| Üreticiler arası anlaşma | 2,8 | 1,53 |

*:1:Kesinlikle çok önemsiz, 2:Az önemli, 3:Orta derecede önemli, 4:Önemli, 5:Kesinlikle çok önemli

Üretilen kiraz iç piyasaya ve ihracata gitmektedir. İhracata yönelik gerçekleşen fiyatlar, iç piyasaya göre daha yüksektir. İç piyasaya verilen kirazların en düşük değeri olan 0,5 TL/kg olup, genellikle meyve suyu yapımına verilen kirazların fiyatıdır.

Pazarlamada en önemli sorunlar sırasıyla; ürün fiyatının düşük olması, ürün kalite ve kayıpları, pazar yapısı ve belirsizliği olduğu belirlenirken, ürün bedeli ve tahsilatında ise genel olarak bir sorun yaşanmadığı tespit edilmiştir (Tablo 7). Öztürk (2010), Isparta'da kiraz işletmelerinin pazarlamada karşılaştıkları en büyük sorunun, fiyatların düşük olması (%50,68) ve fiyat istikrarının olmaması (%32,88) gibi sorunların olduğunu tespit etmiştir. Amasya ili Suluova ilçesinde yapılan bir çalışmada; ürün kayıpları (%48,08), üreticiler arasında işbirliğinin olmaması (%48,08), alıcının peşin ödeme yapmaması, pazar yapısının düzensiz olması, istenilen zaman alıcı bulunamaması, ürün bedellerinin tahsilatında sıkıntılar yaşanması ve ürün satış fiyatının düşük olması gibi sorunları tespit edilmiştir. (Sayılı ve Özbek, 2016).

Tablo 7. İşletmelerin kiraz pazarlamasında karşılaştığı sorunlar

| Kiraz pazarlamasında yaşanan sorunlar | Ortalama* | Standart sapma |
|--|------------------|-----------------------|
| Ürün fiyatının düşük olması | 4,7 | 0,56 |
| Ürün kalite ve kayıpları | 4,4 | 0,79 |
| Pazar yapısı ve belirsizliği | 4,3 | 0,82 |
| Örgütlü olmamak | 4,1 | 0,96 |
| Üretici hali ya da pazarının olmayışı | 4,0 | 1,23 |
| Ürün bedeli ve tahsilatında yaşanan sorunlar | 3,3 | 1,41 |

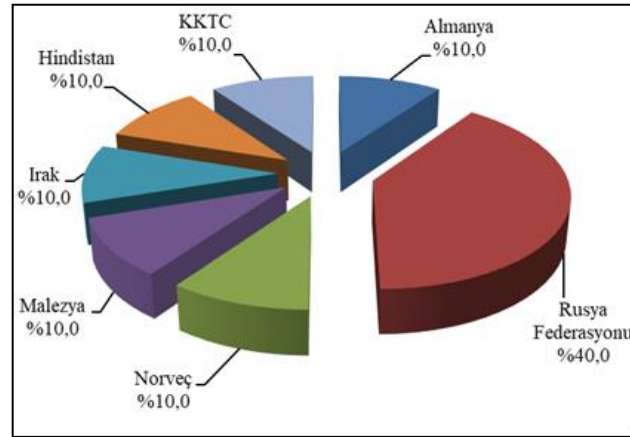
*:1:Kesinlikle çok önemsiz, 2:Az önemli, 3:Orta derecede önemli, 4:Önemli, 5:Kesinlikle çok önemli

3.4. Dış Ticaret Yapısı

Mersin ve Adana illerinde kiraz ihracatı yapan firmaların hukuki statüsü, ihracatçı firmanın yapısı, işletmelerin faaliyet alanları, firma deneyimleri, ihracat miktarları ve pazarları incelenmiştir. İncelenen firmaların %90,0'ı limited şirket statüsündedir. Öz ve Bal, (2016)'ın Isparta'da kiraz alıp ihraç eden firmalarla ilgili yapmış oldukları çalışmada, ihracatçı firmaların hukuki statüsünün büyük oranda (%83,78) limited şirket şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir. Firmaların tamamı tarım ürünleri ihracatı ve özellikle yaş meyve sebze ihracatı yapmaktadırlar. Kiraz ihracatında ürün tedariki sadece Adana ve Mersin ile sınırlı olmayıp kiraz üretiminde söz sahibi olan Isparta, İzmir ve Manisa illerinde de ürün temin edilmektedir.

Görüşülen kiraz ihracatı yapan firmalar arasında en fazla işletme deneyim süresi 16 yıl ve ortalama kiraz ihracatı deneyimi ise 5,2 yıl olarak tespit edilmiştir. Firmaların ihracat miktarı incelendiğinde, %80,0'ni yılda ortalama 500 tonun altında, %10,0'u 501-1000 ton/yıl ve diğer %10,0'u ise 1001-2000 ton/yıl aralıklarında kiraz ihracatı yapmaktadır. Öz ve Bal, (2016), Isparta'da kiraz ihraç eden firmalarla yapmış oldukları çalışmada, firmaların ortalama 1781,43 ton/yıl olarak kiraz ihraç ettiklerini tespit etmişlerdir. Firmalar ağırlıklı olarak 0900 Ziraat (Napolyon) kiraz çeşidini sofralık olarak ihraç etmektedir. Acıköse ve Gürbüz (2018), tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin genelinde olduğu gibi, Bursa ilinde de "0900 Ziraat" (Napolyon) çeşidinin ihraç edildiğini belirlemişlerdir Araştırmanın yapıldığı ihracatçı firmalar Türk kirazının en iyi ve en kötü özellikleri açısından, lezzet faktörünün en iyi, dayanıksız olmasının en kötü özelliği olduğu tespit edilmiştir.

Araştırma alanında yer alan firmaların kiraz ihracatında en önemli pazarın %40,0 ile Rusya Federasyonu oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra; Almanya, Irak, Norveç, KKTC (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti) gibi ülkelerin yanı sıra Malezya ve Norveç gibi Uzakdoğu pazarlarına ihracat yapılmaktadır (Şekil 2). Çelik ve Sarıaltın (2019) yapmış oldukları çalışmada, Türkiye'nin ağırlıklı olarak kiraz ihracatı yaptığı ülkelerin, Avrupa Birliği ülkeleri (Başta Almanya, Bulgaristan ve Hollanda olmak üzere) ile Rusya ve Irak olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2. Firmaların ihracat pazarları

Firmaların büyük çoğunluğu yurtdışı pazarlara erişim noktasında kendi yaptıkları çalışmalar, dış gezi, fuarlar ve ihracatçı birliklerinden sağlanan bilgiler doğrultusunda hareket ettikleri tespit edilmiştir. Türk Çakıt ve Özerhan, (2018) yaptıkları çalışmada, yurt dışı pazarlara erişim noktasında gidilecek ülke ve sektör bazında daha detaylı çalışmalar yapmak, heyet düzenlenecek sektörlerde hedef pazar araştırmaları yapmak, gerekirse bu konuda ilgili kurum veya kuruluşlardan destek alınmasının yararlı olduğunu vurgulamışlardır.

İhracata konu olan kirazın tedarik yapısına bakıldığında doğrudan üretici ve tüccarlardan temin edildiği, bunun yanı sıra; komisyoncu, toplayıcı ve kendi üretimlerinin de ürün tedarik yapısı içerisinde önemli yer tuttuğu belirlenmiştir. (Unakıtan ve ark; 2016) tarafından Trakya bölgesinde kiraz ile ilgili yapılan bir çalışmada, ihracatçılara yapılan satışların doğrudan tüccar, yerel komisyoncular ve kooperatif aracılığı ile gerçekleştirildiğini belirlemişlerdir.

Kiraz ihracatında lojistik olarak büyük bir oranda karayolu taşımacılığı ön plana çıkarken çok düşük miktarlarda KKTC (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti) gibi yakın pazarlara, aynı şekilde uzak doğu pazarlarına havayolu ile ürün gönderildiği belirlenmiştir. Firmaların en çok kullandıkları teslim şeklinin CIF (Cost, Insurance & Freight, Mal bedeli, sigorta ve navlun ihracatçıya ait, limanda teslim) ve CIP (Limanda teslim, navlun, yükleme masrafları ve sigorta ihracatçıya ait) teslim şekillerini tercih ettikleri belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Ürün teslim şekilleri

| Sıra no | Ürün teslim şekli | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|---|-----------|----------------|
| 1 | Masraflar, Sigorta ve Navlun (CIF) | 3,70 | 1,88 |
| 2 | Taşıma ve Sigorta Ödenmiş Olarak (CIP) | 2,10 | 1,79 |
| 3 | Taşıma Ücreti Ödenmiş Olarak Teslim (CPT) | 1,90 | 1,66 |
| 4 | Taşıyıcıya Teslim (FCA) | 1,40 | 1,26 |
| 5 | İş Yerinde Teslim - EX WORK (EXW) | 1,40 | 1,26 |
| 6 | Belirlenen Yerde Teslim (DAP) | 1,20 | 0,63 |
| 7 | Gemide Masrafsız (FOB) | 1,00 | 0,00 |
| 8 | Masraflar ve Navlun (CFR) | 1,00 | 0,00 |

*:1. Hiç 2. Çok az 3. Orta derecede 4. Çoğunlukla 5. Sürekli

Kiraz ihracatı yapan firmaların %60,0'ünün teşviklerden yararlandığı belirlenmiştir. En çok DFİF (Destekleme ve Fiyat İstikrar Fonu) ödemeleri, vergi iadesi, ihracat kredisi teşviklerinden yararlanıldığı ama çok az düzeyde kaldığı tespit edilmiştir (Tablo 9). Öz ve Bal, (2016)'ın Isparta'da kiraz alıp ihraç eden firmalarla ilgili yapmış oldukları çalışmada, firmaların %37,84 'ünün en çok vergi iadesi teşviklerinden faydalandığını, bunu DFİF, ihracat kredisi ve diğerlerinin izlemekte olduğunu tespit etmişlerdir. Desteklerden yararlanmayan firmaların ise en önemli nedenlerinin sırasıyla, bürokratik işlemlerin fazlalığı, ihtiyaç duymama, teşvik miktarının yeterli olmaması ve ödeme zamanı aksaklıkları olduğu tespit edilmiştir. Öner Aba, (2018) tarafından Ege bölgesinde yapılan bir çalışmada kiraz, sofralık üzüm ve şeftali ürünlerinin dış ticaretinde Globalgap sertifikası olan firmaların tamamının ve sertifikası olmayan firmaların ağırlıklı olarak ihracat kredisi desteği aldığı belirlenmiştir.

Tablo 9. Yararlanılan teşvikler

| Sıra no | Yararlanılan teşvikler | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|------------------------|-----------|----------------|
| 1 | DFİF | 1,70 | 0,94 |
| 2 | Vergi İadesi | 1,70 | 0,94 |
| 3 | İhracat Kredisi | 1,50 | 0,52 |
| 4 | Vergi Muafiyeti | 1,40 | 0,51 |
| 5 | Navlun İadesi | 1,40 | 0,51 |
| 6 | Döviz Tahsisli Kredi | 1,40 | 0,51 |

*:1. Hiç 2. Çok az 3. Orta derecede 4. Çoğunlukla 5. Sürekli

Kiraz ihracatında fiyatlara etki eden unsurlar incelenmiş ve Tablo 10'da verilmiştir. Öncelikle ürün kalitesi ve kalibresi en önemli unsur olarak belirlenmiş, pazar durumu, depolama olanakları, rekabet ve diğer başlıklarda fiyata etki eden unsurlar olarak sıralanmıştır. Öz ve Bal, (2016) Isparta'da kiraz alıp ihraç eden firmalarla ilgili yapmış oldukları çalışmada, kiraz ihraç fiyatının belirlenmesinde en önemli unsurun ürünün kalitesi olduğunu belirlemişlerdir.

Tablo 10. Kiraz ihraç fiyatına etki eden unsurlar

| Sıra no | Kiraz ihraç fiyatına etki eden unsurlar | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|---|-----------|----------------|
| 1 | Ürün Kalitesi ve Kalibresi | 4,70 | 0,48 |
| 2 | Pazar Durumu | 3,70 | 1,25 |
| 3 | Muhafaza ve Depolama Olanakları | 3,66 | 1,00 |
| 4 | Rekabet | 3,40 | 1,34 |
| 5 | Pazara Ulaşma Süresi | 3,40 | 1,42 |
| 6 | Ürün Miktarı | 3,30 | 1,49 |
| 7 | Ödeme Zamanı | 2,80 | 1,54 |
| 8 | Ürün Teslim Yeri | 2,80 | 1,47 |

*:1. Hiç 2. Çok az 3. Orta derecede 4. Çoğunlukla 5. Sürekli

Dünya pazarlarında kiraz ihracatında rakip ülkeler İtalya, ABD, İspanya, Yunanistan, İran, Mısır ve Özbekistan'dır. Rakip ülkelerin avantajları incelendiğinde; bu ülkelerdeki pazarlama avantajları, lojistik avantajlar ve üretim maliyetleri gibi etkenlerin olduğu tespit edilmiştir. Bu etkenlerin yanı sıra; fiyat, indirim ve muafiyetler ve standartlara uygun kaliteli ürünlerde firmalar tarafından rakip ülkelerin avantajı olarak görülmektedir (Tablo 11). Öz ve Bal, (2016) tarafından kiraz üretimi ile ilgili "İhracatçı açısından Isparta ili kiraz ihracatının analizi" adlı kiraz ihracatı yapan firmalarla yaptığı

çalışmada, ilgili firma yetkililerine göre rakip ülkelerin en önemli avantajlarının “AB ülkesi olmanın avantajları” ve “İyi bir organizasyona sahip olmaları” en önemli güçlü yönleri olduğu belirlenmiştir.

Tablo 11. Rakip ülkelerin avantajları

| Sıra no | Rakip ülkelerin avantajları | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|-----------------------------|-----------|----------------|
| 1 | Pazarlama Avantajları | 4,40 | 0,84 |
| 2 | Lojistik Avantajı | 4,25 | 0,88 |
| 3 | Üretim Maliyetleri | 4,12 | 1,24 |
| 4 | Fiyat | 3,87 | 1,12 |
| 5 | İndirim ve Muafiyetler | 3,70 | 1,05 |
| 6 | Standartlara Uygun Ürün | 2,62 | 1,06 |
| 7 | Daha Kaliteli Ürün | 2,62 | 1,06 |

*:1. Kesinlikle katılmıyorum 2. Katılmıyorum 3. Orta derecede katılıyorum 4. Katılıyorum 5. Kesinlikle katılıyorum

İhracatçı firmanın rekabete dayanabilmesi için ihtiyaçlarının neler olabileceği sorulmuştur. Alınan cevaplara göre nakit sermayenin önemli olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra; ürün kalite bilgi sistemi, dış pazar bilgisi, sorunsuz gümrük ve örgütlü bir yapının varlığının da rekabet gücüne katkı sağlayacağı tespit edilmiştir (Tablo 12). Öz ve Bal, (2016) tarafından yapılan çalışmada kiraz üretimi ile ilgili “Türkiye’de yeni kurulması planlanan bir ihracatçı firmanın dış pazar konusunda yeterli bilgi sahibi olması yanında, üreticiden kaliteli mal alımının iyi bilinmesi ve rekabet için nakit sermayesinin güçlü olması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Tablo 12. Rekabet için ihtiyaçlar

| Sıra no | Rekabet için ihtiyaçlar | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|---------------------------|-----------|----------------|
| 1 | Nakit Sermaye | 4,40 | 1,26 |
| 2 | Ürün Kalite Bilgi Sistemi | 4,10 | 0,87 |
| 3 | Dış Pazar Bilgisi | 3,90 | 0,99 |
| 4 | Sorunsuz Gümrük | 3,70 | 1,15 |
| 5 | Örgütlü Olmak | 2,20 | 1,47 |

*:1. Kesinlikle katılmıyorum 2. Katılmıyorum 3. Orta derecede katılıyorum 4. Katılıyorum 5. Kesinlikle katılıyorum

İncelenen firmaların rekabet açısından güçlü oldukları hususları skorlamışlardır. Firmalar imaj, ürün teslim süresi, güvenilirlik, lojistik konularında kendilerinin yüksek rekabet gücüne sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ancak maliyet, etkin tanıtım, teknoloji ve yeni pazar bulma konusunda orta derecede, yabancı şirketlerle işbirliği ve pazar payı konularında düşük rekabet gücüne sahip oldukları belirtilmiştir (Tablo 13).

Tablo 13. Firmaların rekabet gücü

| Sıra no | Firmaların rekabet gücü | Ortalama* | Standart sapma |
|---------|-------------------------------|-----------|----------------|
| 1 | Firma imajı | 4,30 | 0,67 |
| 2 | Teslim süresi | 4,00 | 1,15 |
| 3 | Güvenilirlik | 4,00 | 0,66 |
| 4 | Lojistik | 3,80 | 1,47 |
| 5 | Standartlara uygunluk | 3,50 | 1,58 |
| 6 | Kapasite esnekliği | 3,40 | 1,17 |
| 7 | Yatırım gücü | 3,00 | 1,41 |
| 8 | Maliyet | 2,90 | 1,44 |
| 9 | Etkin tanıtım | 2,80 | 1,47 |
| 10 | Teknoloji | 2,50 | 1,17 |
| 11 | Yeni pazar bulmak | 2,40 | 1,64 |
| 12 | Yabancı şirketlerle işbirliği | 1,90 | 1,10 |
| 13 | Pazar payı | 1,80 | 1,22 |

*1. Düşük 2. Orta 3. Eşit 4. Yüksek 5. Çok Yüksek

4.Sonuçlar

Türkiye'nin hemen her ilinde kiraz üretimi yapılmakta olup modern tarım yöntemlerinin uygulanmasıyla birlikte üretilen kiraz çeşidi sayısı artmıştır. Kiraz üretiminde dünya lideri ve ihracatta ilk sıralarda yer alan Türkiye'nin mevcut olan üstünlüğünü sürdürülebilir ve daha iyi bir konuma getirebilmek amacıyla üretim, iç ve dış pazarda yaşanan sorunların araştırılması önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma ile Doğu Akdeniz bölgesi içerisinde yer alan Mersin ve Adana illerinde kiraz üreticisi ve ihracatçısı açısından iç ve dış pazardaki mevcut üretim ve pazarlama yapısının konulması amaçlanmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre; kiraz üretimini etkileyen en önemli risklerin verim ve kalite kayıplarına neden olan hastalık ve zararlılar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ilaçlama maliyetlerinin artmasına ve düşük kaliteli ürüne sebep olmaktadır. Üretimin doğru ve zamanında entegre ve biyolojik mücadelenin uygulanması ile birlikte yayım faaliyetleri ile de üreticilere gerekli bilgilendirilmenin yapılması kiraz üretim ve kalitesini arttıracaktır.

Üreticiler arasında örgütlenme eksikliği, ürün satış fiyatının belirlenmesinde üreticinin söz sahibi olamamasına ya da düşük fiyattan alıcının fiyatını kabul etmesine sebep olmaktadır. İhracatta '0900 Ziraat' kiraz çeşidi tercih edilmekte olup, en önemli pazarın Rusya Federasyonu olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu dünya genelinde Türk kirazı olarak bilinen 0900 Ziraat kiraz çeşidinin lezzet yönünden marka sağlamış olmakla birlikte dayanıksız olmasının kötü özellik olduğu bildirilmiştir. Bundan dolayı pazarın talebi doğrultusunda yeni çeşitler geliştirilmeli ve daha önceden ıslah edilmiş çeşitlerinde, yayım faaliyetleri ile özel ve kamu sektör işbirliği ile tanıtımları üreticiye yapılmalı, üreticilerin yeni çeşitler hakkında önyargıları kırılmalıdır. Ayrıca, yeni çeşitlerin üretime özendirilmesi için üreticilere teknik ve fidan desteği ve çeşitli teşvik edici desteklerin sağlanması önem arz etmektedir. İhracatçı firmalar dış pazar bilgi kaynakları olarak firmaların kendi yaptıkları çalışmalar, dış gezi, fuarlar ve ihracatçı birliklerinden elde edilen kaynakları kullanmaktadırlar. Bu firmaların pazar payını arttırmak için ilgili devlet kurumlarının da destek sağlaması gerekmektedir.

Uluslararası ticarete büyük bir oranda karayolu taşımacılığı yapılmakta olup hızlı olabilmek ve ürün kaybını en azına indirmek amacıyla havayolu taşımacılığı yaygınlaştırılmalıdır. İhracatçı firmaların yararlandıkları teşviklerin başında DFİF ve vergi iadesi gelmekte olup, ancak yararlanmanın az düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Teşviklerin ihracatçıların gereksinimleri doğrultusunda ve yeterli miktarda kullanılması sağlanması, bürokratik işlemlerin sadeleştirilmesine yönelik çalışmaların yapılması ihracatçı firmalara zaman kazandıracaktır. İhraç fiyatının oluşmasında en önemli unsurun ürün kalite ve kalibre kavramının olduğu bölgedeki firmaların diğer önemli kiraz üretim bölgelerinden de ürün tedarik ettiği tespit edilmiştir. Araştırmada Türkiye'deki kiraz ihracatı yapan firmaların rekabet ihtiyaçları ve firmaların rekabet güçleri ortaya konulmuştur. Türkiye'nin dünya kiraz ticaretinde, diğer üretici ülkelerle rekabet şansı için nakit sermaye ihtiyacı en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Dış pazarda firmalar Türk kirazının imajı, firmaların zamanında ürünü teslim etmesi ve güvenilirlik konularında yüksek rekabet gücüne sahiptir. Maliyet, etkin tanıtım, teknoloji ve yeni pazar

bulma konusunda düşük rekabet gücüne sahip oldukları belirlenmiştir. Rekabetin daha iyi olması ve olumsuz etkilenmemesi için bu konuda gerekli desteklerin sağlanması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Aba Öner G. Batı Trakya Bölgesinde seçilmiş bir yörede önemli bazı meyvelerde üretim ve dış satım açısından Globalgap (Eurogap) kriterlerine uyum üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Doktora Tezi, 2018.

Acıköse S., Gürbüz Bİ. Bursa kiraz ihracat araştırması. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2018; 5(2): 191–202.

Chakan A. Batı Trakya Bölgesinde iyi tarım uygulamaları ile kiraz üreten işletmelerin ekonomik analizi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2021.

Bayraktar ÖV., Saner G. İzmir-Kemalpaşa yöresinde GlobalGAP uygulayan ve uygulamayan kiraz üreticilerinin bilgi gereksinimleri ve görüşleri. Tarım Ekonomisi Dergisi 2016; 22(1): 41-47.

Çelik Y., Sarıaltın HK. Türkiye’de kiraz üretiminin yapısal analizi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2019; 6(4): 596–607.

Demircan V., Hatırlı SA., Aktaş AR. Isparta ilinde kirazın pazarlama yapısı ve sorunları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2004; 8(1): 26-33.

Demircan V., Ekinci K., Keener HM., Akbolat D., Ekinci C. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A Case Study from Isparta Province. Energy Conversion and Management 2006; 47 (13-14): 1761-1769.

Dere HE., Tarımsal pazarlama sorunları ve Sultandağı kirazı üzerine bir araştırma. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

Emeksiz F. Orta Toroslarda kiraz üretim ve ihracatını geliştirme olanakları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1999; 14(4): 37–46.

Erdal G., Çallı A., Karakaş G., Balcı M. Amasya ili Boyalı köyü kiraz üretimi ve tarımsal kalkınma kooperatifi. XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 2014, 3-5 Eylül 2014, Samsun.

Ergun ME., Burak M. Dış satıma yönelik üretim yapan kiraz işletmelerinin sorunları ve çözüm yolları, I. Sert Çekirdekli Meyveler Sempozyumu 2001, Yalova.

Eryılmaz İ. Kiraz Yetiştiriciliği 2010; http://www.tarimkutuphanesi.com/Kiraz_Yetiştiriciliği.

FAO. Food and Agriculture Organization. Cherry Production in Turkey, 2015-2019 and Ratio of Turkey in the World Cherry Area 2022; <http://www.fao.org>. (Erişim:13 Haziran 2022).

- Gül M., Örmeci KMÇ., Yılmaz ŞG., Uzunkaya K. Opportunities and constraints for cherry exporters in Turkey. *Custos e Agronegocio*, 2016; 12: 156-169.
- Gül M., Akpınar MG., Demircan V., Yılmaz H., Bal T., Arıcı ŞE., Polat M., Örmeci K MÇ., Acar M. Economic analysis of integrated pest management in cherry cultivation. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering and Rural Development* 2016; 16: 165-178.
- Gül M., Oktem H. Marketing structure and problems of sour cherry farmers: Afyonkarahisar and Konya province example. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 2017; 17: 147-155.
- Gül M., Akpınar M. G., Demircan V., Bal T., Yılmaz H., Arıcı Ş. E., Polat M., Örmeci K. M. Ç., Acar M. Evaluation of economic structure of cherry growing in Turkey. *Erwerbs-Obstbau* 2020; 62: 13- 20.
- ITC. Trademap. Turkey Export Data 2022. www.trademap.org. (Erişim: 13 Haziran 2022).
- Küçükçongar M., Kan M., Özdemir F., Demirtaş MN., Öz MH., Ülke G. Konya ili Taşkent ilçesinde kiraz üreticilerinin kiraz üretimine ve pazarlamasına bakışı. XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 25-27 Mayıs 2016, Isparta.
- Öz Çerçinli F., Bal T. İhracatçı açısından Isparta ili kiraz ihracatının analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2016; 21(1): 71-82.
- Öztürk FP. Isparta ilinde kiraz işletmelerinde yeniliklerin benimsenme ve etki değerlemesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- Sayılı M., Özbek K. Amasya ili Suluova ilçesinde kiraz üretimi yapan işletmelerin üretim ve pazarlama sorunları. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2016; 33(1): 33-46.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Ürün Denge Tabloları ve Bitkisel Üretim İstatistikleri, Kiraz Üretim Miktarı 2022.
- Türk Çakıt G., Özerhan Y. The impact of sectoral trade delegations on firms' export performances within the scope of market research and market entry support. *Bankacılık ve Finansal Araştırmalar Dergisi* 2018; 5(1): 1-18.
- Unakıtan G., Hurma H., Makaracı Z., Başaran B., Abdikoğlu Dİ., Sağır FS. Trakya bölgesinde kiraz üretiminin ekonomik analizi. *Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi* 2016; Proje No: NKUBAP.00.24.AR.13.07.

İş Güvenliğinde Fiziksel Risk Etmenlerinin Tespitinde İş Etüdü Tekniğinin Kullanımı-Bir Tekstil İşletmesi Örneği

Gülşah BUGAY ÇAĞRI¹, Emel Ceyhan SABİR^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, 01330, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

¹ <http://orcid.org/0000-0001-6069-3898>

² <http://orcid.org/0000-0002-2385-1524>

*Sorumlu yazar: emelc@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.04.2022

Kabul tarihi: 16.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği

Tekstil

Boya-terbiye işletmesi

İş etüdü

Fiziksel risk etmenleri

ÖZ

Bu çalışmada iş etüdü tekniğinin iş sağlığı ve güvenliğinde güdültü, aydınlatma, sıcaklık ve bağıl nem fiziksel risk etmenlerinin analizinde kullanımı araştırılmıştır. İş etüdü çalışmaları ve fiziksel risk etmenleri ölçümleri için uygulamalı araştırma Çukurova/Türkiye bölgesinde faaliyette bulunan büyük ölçekli bir tekstil fabrikasının boya terbiye işletmesinde gerçekleştirilmiştir. İşletmedeki tüm üretim süreci, faaliyetler, doğrudan ve rastgele tekrarlı gözlem yoluyla, iş sağlığı ve güvenliği risk faktörlerini içeren geliştirilen iş etüdü formlarına kaydedilmiştir. Tüm faaliyetler, fiziksel risk etmenleri ve iş etüdü tekniği ile birlikte değerlendirilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği kapsamında boya terbiye işletmesindeki riskler iş etüdü tekniği yardımıyla tespit edilebilmiştir. Boya terbiye işletmesinin özellikle sıcaklık ve nem yönünden yüksek risk içerdiği görülmüştür. İşletmede gereksiz düzeyde yüksek aydınlatma düzeyi bulunmuştur. Enerji verimliliği için aydınlatma seviyesinin azaltılması önerilmiştir. Bu çalışma ile riskler ortaya konurken verimlilik çıktıları da değerlendirebilmiş ve İş Etüdü tekniğinin iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir.

The Using of Work Study Method in The Determination of Physical Risk Factors in Occupational Safety-A Textile Dyeing-Finishing Plant

Research Article

Article History:

Received: 25.04.2022

Accepted: 16.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Occupational health and safety

Textile

Dyeing -finishing plant

Work study

Physical risk factors

ABSTRACT

In this study, the use of work study technique in the analysis of physical risk factors of noise, lighting, temperature and relative humidity in occupational health and safety was investigated. Applied research for work study studies and physical risk factors measurements was carried out in the dye-finishing plant of a large-scale textile factory operating in the Çukurova/Turkey region. The entire production process and activities in the enterprise were recorded in the developed work study forms, which included occupational health and safety risk factors, through direct and random repeated observation. All activities were evaluated together with physical risk factors and work study technique. Within the scope of occupational health and safety, the risks in the paint finishing business could be determined with the help of the work study technique. It has been observed that the paint finishing business has a high risk especially in terms of temperature and humidity. Unnecessarily high lighting level was found in the enterprise. For energy efficiency, it is recommended to reduce the lighting level. With this study, while the risks were revealed, the productivity outputs were also evaluated and it was shown that the Work Study technique could be used in occupational health and

To Cite: Çağrı GB., Sabır EC. İş Güvenliğinde Fiziksel Risk Etmenlerinin Tespitinde İş Etüdü Tekniğinin Kullanımı-Bir Tekstil İşletmesi Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 369-382.

1. Giriş

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramı, her sektör için, gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün daha çok gündeme gelmekte ve verilmesi gereken önem artmaktadır. İSG, ortaya çıkması muhtemel tehlike ve bunlara bağlı oluşacak riskleri önceden tespit eder, risklerin kabul edilebilir seviyede olup olmadığını belirleyen ve gerekli tedbirleri alan sistematik bir çalışma faaliyetidir. Bu çalışma çalışmanı korurken üretimin ve işletmenin güvenliği de sağlar. Tekstil sektörü, çalışan yoğunluğu fazla olan (emek yoğun) ve üretim aşamasında pek çok ciddi tehlikeler barındıran riskli bir sektördür. İSG açısından işe uygun ve doğru bir risk değerlendirme metodu ile tekstil sektöründeki muhtemel tehlikeler önlenbilir (Kabakulak, 2019). Rekabetin yoğun yaşandığı günümüzde, küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde kaynakların en iyi şekilde kullanılması ve maliyetlerin aşağıya çekilmesi önem arz etmektedir. Bu kaynaklardan en önemlisi de işgücüdür. İş gücünden en etkin şekilde yararlanabilmek için onların ihtiyaç duyduğu çalışma ortamlarının hazırlanması gerekir. Çalışma ortamının fiziksel koşullarının uygunsuzluğu, fiziksel risk etmenlerini oluşturur ve çalışan bireylerin hem fiziksel hem de ruhsal sağlığını olumsuz yönde etkiler (Sönmez ve ark., 2009). Fiziksel Risk Etmenleri; çalışanların işleri gereği maruz kaldıkları işyeri ortam etmenleri olarak değerlendirilen, çalışanın sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturan etmenlerdir. Risk, çalışanın bir tehlike unsuru tarafından zarar görme ihtimalinin yüksek veya düşük olmasıdır. Fiziksel etmenleri genel olarak; gürültü, titreşim, aydınlatma ve termal konfor parametreleridir (Sabır, 2019). Tekstil sektörü, iplik, dokuma, örme ve teknik tekstil şeklinde ülkemizde oldukça yaygın faaliyet gösteren bir imalat sanayi sektörüdür. “SGK 2015 istatistiklerine göre; 17.050’si tekstil ve 33.265’i hazır giyim alanında olmak üzere Türk tekstil ve hazır giyim sanayinde 50.315 civarında işletme faaliyette bulunmaktadır. Bu işletmelerin % 90’dan fazlası KOBİ sınıfında yer almaktadır.” (<https://www.csgeb.gov.tr>, 2022). Tekstil işletmeleri, çok fazla üretim aşamasına sahip orta ve büyük ölçekte işletmelerdir. Özellikle boya terbiye işletmesi, fiziksel risk etmenlerinin pek çoğunu içeren ve İSG’nde “tehlikeli” sınıfına giren işletmelerdir (Özüm, 2014, Bugay Çağrı, 2021). Bu nedenle bu çalışmada kapsam olarak çok prosesli ve riskleri yüksek boya terbiye işletmesi seçilmiştir. Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü tehlike sınıfları açısından mevzuatta NA-CE Rev. 2 kodlarına göre Tablo 1’deki gibi sınıflandırılmıştır (Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012).

Tablo 1. Tekstil Sektörü ve Alt Sektör Kodları NACE Rev-2 (Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı,2012)

| Tekstil Ürünlerinin İmalatı Sektörü (NA-CE Kodları) | |
|---|---|
| Alt Sektör Kodu | Alt Sektör |
| 13.1 | Tekstil elyafının hazırlanması ve bükülmesi |
| 13.2 | Dokuma |
| 13.3 | Tekstil ürünlerinin bitirilmesi |
| 13.9 | Diğer tekstil ürünlerinin imalatı |

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma imalat alanında faaliyet gösteren bir tekstil fabrikasında yürütülmüştür. İşletme, yıllık 30 milyon metre üretim kapasitesine sahip iplik, dokuma ve boya terbiye işletmelerine sahip entegre ve büyük ölçekli bir tesistir. İşletmenin çalışma kapsamındaki seçilen kısmı, ham dokunmuş kumaşların renklendirildiği ve kullanıcının istediği özelliklerin kazandırıldığı tekstil boya terbiye işletmesidir. İşletmede, Polyester/Viskon dış giyim dokuma kumaş üretimi yapılmaktadır. Çalışmalar işletmenin boya-terbiye bölümünde; ön terbiye, renklendirme ve bitim proseslerini kapsayacak şekilde yürütülmüştür.

2.2. Metot

Çalışmada bir boya terbiye işletmesinde fiziksel risk etmenleri iş etüdü tekniği ile incelenmiştir. ISG çalışma kapsamında sektöre göre farklılık gösteren pek çok risk faktörü bulunmaktadır. Boya terbiye işletmesinde çalışanlar açısından en zorlayan risklerin fiziksel riskler olabileceği düşünülerek ISG kapsamı fiziksel riskler olarak belirlenmiştir. Seçilmiş fiziksel risk etmenleri ise gürültü, aydınlatma, termal konfor (sıcaklık, nem) şeklindedir. İş etüdü bir verimlilik aracı olup, işletmelerde gereksiz işlemlerin, süre ve emek kaybına yol açan etkenleri tespit eden ve ortadan kaldıran veya yeni bir yolla iyileştirme sağlayan dizgisel bir tekniktir. Bu çalışma ile iş etüdü tekniği İSG alanında kullanılmıştır. Çalışmada işletmedeki her proses için ilgili prosesin alt proseslerini içeren ve bunun iş etüdü ve fiziksel risk etmenleri ile birlikte değerlendirilebileceği etüt formları oluşturulmuştur. İşletmede her makinenin başında doğrudan gözlem yoluyla fiziksel risk ölçümleri yapılmış ve iş etüdü formlarına kaydedilmiştir. Ayrıca her makine için işlem süreleri de fiili maruziyet süresinin tespiti için ölçülerek aynı etüt formlarına işlenmiştir. Tüm ölçümler rastgele zamanda tekrarlı şekilde yapılmış ve kaydedilmiştir. Bugüne kadar ilgili konuda yapılmış çalışmalar incelendiğinde, iş etüdü ve fiziksel risk etmenlerini birlikte değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2.1. İş Etüdü Tekniği

İş etüdü, gelişme olanağı yaratabilmek amacıyla, belirli bir olayı veya etkinliği ekonomiklik ve etkinlik yönünden etkileyen tüm kaynakları ve etmenleri dizgesel olarak araştırmaya yönelik ve insan çalışmasını geniş kapsamda inceleyen bir teknik olup özellikle metot (yöntem) etüdü ve iş ölçümü teknikleri için kullanılan genel bir terimdir (Akai, 2004). Tam bir iş etüdü yapılmasında 8 ana basamak vardır. Bu basamaklara *İSG çalışması* da eklenerek aşağıdaki gibi bir yol izlenmiştir;

- 1) Etüdü yapılacak işin ya da sürecin seçimi-*Boya Terbiye işletmesi seçilmiştir*
- 2) Doğrudan gözlemlerle, oluşan her olayın oluşturulan etüt formlarına kaydedilmesi- *Formlara fiziksel risk ölçümleri sonuçları ve gerekli risklerin düzeyini tespit için ek bilgilerin kaydedileceği bölümler eklenmiştir.*
- 3) Kaydedilen bilgilerin eleştirilerek incelenmesi ve yapılan her şeyin sırası ile işin amacı, yapıldığı yer, yapılma sırası, yapan kişi, yapıldığı yol bakımından gözden geçirilmesi- *içerdiği riskler açısından bakımından gözden geçirilmesi.*
- 4) Bütün koşulları hesaba katarak en ekonomik en az yorucu ve yöntemin geliştirilmesi- *en az riskli yöntemin ve alınacak önlemlerin tespiti yapılmıştır*
- 5) Seçilen yöntemin kapsadığı iş miktarının ölçülmesi ve bu işin yapılması için gerekli standart zamanının hesaplanması-*bu çalışmada iş etüdünde zaman planlaması yapılmamıştır.*
- 6) Yeni yöntemin ve buna bağlı zamanın tanımlanması, böylece yeni yöntemin her zaman için belirlenmesinin sağlanması-*Riskleri önleme/ortadan kaldırmak için gerekenler tespit edilmiştir.*
- 7) Yeni yöntemin ayrılan süre ile birlikte onaylanarak standart uygulama olarak yerleştirilmesi-*Seçilmiş işletmeye tespitler ve öneriler sunulmuştur.*
- 8) Yeni standardın iyi bir denetimle sürdürülmesi şeklindedir.

2.2.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Seçilmiş Fiziksel Risk Etmenleri

Fiziksel risk etmenlerinin şiddeti ve maruz kalındığı süreye bağlı olarak çalışanlar bu etmenlerden olumsuz etkilenmektedir. Tekstil sektöründe çalışanların maruz kaldığı birçok fiziksel risk etmeni vardır. Bu etmenlerden bazıları gürültü, sıcaklık, nem, aydınlatma ve termal konfordur (Sabır, 2019; Camkurt, 2007). Uygun olmayan yetersiz aydınlatma; çalışan için dikkat azalması, yorgunluk ya da algılama hatalarına neden olur. İş kazaları da büyük oranda dikkat kaybı, yorgunluk vb. nedenli gerçekleşmektedir. (Dedeler, 2008; Karaoğlan, 2019). Bir işyerinde işçilerin termal konforunu etkileyen faktörler; hava sıcaklığı, nem, havanın akım hızı ve radyant ısıdır.

2.2.3. L Tipi (5x5) Matrisi Risk Analizi Yöntemi

L Tipi Matris risk değerlendirme metodu sebep sonuç ilişkisine dayanarak, iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla kullanılır. Bu yöntem ile tespit edilen tehlikelerin gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi halinde ortaya çıkacak zarar durumunun analizi yapılır. Tespit edilen riskler olasılık ve şiddet yönünden beş farklı seviyede derecelendirilir ve puanlama yapılır. Olasılık ve şiddet puanlarının çarpımı risk puanı olarak ifade edilir (Eşitlik 1). Olasılık ve şiddet

değerlerinin çarpımı ile elde edilen risk analizi matrisi Tablo 2’de gösterilmiştir. Burada Kırmızı yüksek risk, sarı uyarı ve yeşil tehlike içermeyen risk grubunu göstermektedir.

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \quad (1)$$

Tablo 3’te 5x5 Matris değerleriyle belirlenen risklerin kabul edilebilir seviyede olup olmadığı, risklerin kabul edilebilirlik düzeyleri ve düzenleyici önleyici faaliyetlerin önem derecelerine göre değerlendirmesi görülmektedir.

Tablo 2. L Tipi (5x5) Risk Analizi Matrisi

| Olasılık | Şiddet | | | | |
|------------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|--------------------|
| | 1 Çok Düşük | 2 Düşük | 3 Orta | 4 Yüksek | 5 Çok Yüksek |
| 1 Nadiren | (1) Önemsiz | (2) Düşük | (3) Düşük | (4) Düşük | (5) Düşük |
| 2 Muhtemel Değil | (2) Düşük | (4) Düşük | (6) Düşük | (8) Orta | (10) Orta |
| 3 Mümkün | (3) Düşük | (6) Düşük | (9) Orta | (12) Yüksek | (15) Yüksek |
| 4 Muhtemel | (4) Düşük | (8) Orta | (12) Yüksek | (16) Yüksek | (20) Yüksek |
| 5 Hemen Hemen Kesin | (5) Düşük | (10) Orta | (15) Yüksek | (20) Yüksek | (25) Çok Yüksek |

Tablo 3. Risklerin Kabul Edilebilirliği

| Risk Seviyesi | Sonuç | Kabul Edilebilirlik | Eylem |
|---------------|------------|-----------------------|--|
| 1 | Çok Düşük | Kabul Edilebilir Risk | Acil önlem gerektirmeyebilir. |
| 2, 3, 4, 5, 6 | Düşük | | |
| 8, 9, 10, 12 | Orta | Dikkate Değer Risk | Bu risklere mümkün olduğu kadar çabuk müdahale edilir. |
| 15, 16, 20 | Yüksek | Kabul Edilemez Risk | Bu risklerle ilgili hemen çalışma yapılmalıdır. |
| 25 | Çok Yüksek | | |

3.Araştırma Bulguları

Bu çalışmada, öncelikle iş etüdü metodu ile boya terbiye işletmesindeki proseslerin mevcut iş yükü durumu ortaya konmuştur. İşletmede ön terbiye, boya ve terbiye bölümlerinde seçilmiş fiziksel risk etmenlerinin ölçümleri, doğrudan gözlem yoluyla standart ölçüm cihazları kullanılarak yapılmış ve ölçüm sonuçları geliştirilen iş etüdü formlarına kaydedilmiştir. Bu kayıtlarda standart dışı durumlar

tespit edilerek verilmiştir. Risk analizi ile standart dışı durumlar ve çözüm önerileri gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar boya terbiye işletmesindeki iş akış sırasına göre analiz edilmiştir.

3.1. Boya Terbiye İşletmesi İş Etüdü Ölçüm ve Analizleri

Bu bölümde boya terbiye işlemlerine ait proseslerin iş etüdü çalışmaları verilmiştir. Boya terbiye işletmesindeki seçilmiş proseslere ait alt prosesler belirlenmiş, geliştirilen iş etüdü formuna fiziksel risk etmenleri ölçümleri, iş etüdü faaliyet çeşidi, faaliyetlerin yapılış süresi ve mesafe bilgisi aynı zamanda her bir alt prosese yönelik açıklayıcı bilgiler işlenmiştir. Böylece iş etüdü faaliyetleri ve fiziksel risk etmenleri bir arada değerlendirilebilmiştir. Devam eden tüm prosesler bu sistematik çalışma ile değerlendirilmiştir. Burada parti açma prosesi iş etüdü Tablosu örnek etüt formu Tablo 4. 'de verilmiştir. Formda proses aşamaları, İSG fiziksel risk etmenleri, İş etüdü türü, diğer faaliyetler ve açıklama şeklinde beş bölüm bulunmaktadır.,

3.2. İşletmedeki Fiziksel Risk Etmenleri Ölçüm ve Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde boya-terbiye işletmesi fiziksel risk etmenleri ölçüm ve analizleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.2.1.2. Aydınlatma

İşletmede seçilmiş proseslerde yapılan aydınlatma ölçüm sonuçları, ortalaması ve Yönetmelik sınır değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Yapılan risk değerlendirmesine göre tüm proseslerde aydınlatma sınır değerinin üzerinde tespit edilmiştir.

3.2.2. Gürültü

Boya terbiye işletmesinde seçilmiş proseslerde yapılan işyeri ortam gürültü ölçüm sonuçları Tablo 5'de gösterilmiştir. Gürültü ölçüm sonuçları incelendiğinde yıkama prosesinde Leq değerinin en yüksek maruziyet eylem değerine ulaştığı görülmüştür.

Tablo 4. Parti Açma Prosesi İş Etüdü Tablosu

| Prosesin aşamaları (Alt proses öğeleri) | İş Sağlığı ve Güvenliği Fiziksel Risk Etmenleri | | | | | İş Etüdü Faaliyet türü | | | | Diğer Ölçümler | | Açıklama |
|--|---|-----|---------------------|---------|------------------|------------------------|--------|---------|---------|----------------|----------|---|
| | Termal konfor | | | | | İşlem | Taşıma | Kontrol | Bekleme | Mesafe (m) | Süre (s) | |
| | Sıcaklık | Nem | Hissedilen sıcaklık | Gürültü | Aydınlatma (lux) | | | | | | | |
| 1. Kumaş topları makineye taşınır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | X | | | 30 | 353 | Forklift ile taşınmaktadır. |
| 2. Kumaş toplarının ambalajı açılır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 11,65 | İşçi makas yardımıyla açmaktadır. |
| 3. Topların etiketi sökülüp kontrol edilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | X | | | 13,46 | Elle işçi tarafından yapılmakta ve kontrol edilmekte |
| 4. Kumaş topu makine parkına yerleştirilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 3,30 | Elle tezgâhta yuvarlama ile yapılıyor. |
| 5. Kumaş astara dikilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 30,60 | Makine yanındaki tekerlekli dikiş makinesi kullanılıyor. |
| 6. Boş kumaş doku makine çıkışına yerleştirilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | X | | | | 81 | Forklift yardımıyla çekiliyor, Bazen elle de çekilebiliyor. |
| 7. Metre sayacının sıfırlanır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | X | | | 6,45 | İşçi tarafından yapılıyor. |
| 8. Makinenin çalıştırılır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 4,30 | İşçi |
| 9. Sıradaki kumaş topunun ambalajı açılır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 10,43 | İşçi |
| 10. Etiket sökülüp kontrol edilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | X | | | 15,49 | İşçi |
| 11. Makine durdurulur. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 4 | İşçi |
| 12. Boş konik makineden alınır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 4,12 | İşçi |
| 13. Sıradaki kumaş topu makineye yerleştirilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 3,30 | İşçi |
| 14. Kumaşın ucu makinedeki kumaşa dikilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 34,62 | İşçi tarafından dikiş makinesi kullanılarak dikiliyor. |
| 15. Makine çalıştırılır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 4,16 | İşçi |
| 16. Ham açma üretim formu doldurulur. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | X | | | 71 | İşçi |
| 17. Ürün refakat kartı doldurulur. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | X | | | 70 | İşçi |
| 18. Kumaştan bir numune alınır, ürün refakat | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 54,29 | İşçi |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|-----|---|---|--|---|---|-------|------|
| formuna eklenir. | | | | | | | | | | | | |
| 19. Makine durdurulur. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 4,99 | İşçi |
| 20. Kumaş astardan kesilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | X | | | | | 37 | İşçi |
| 21. Ürün refakat formu kumaş dokuna yerleştirilir. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | X | | | | 11,97 | İşçi |
| 22. Kumaş doku sonraki işlem için beklemeye alınır. | 30 | 75 | 36 | 83 | 174 | | | | X | 8 | 53 | İşçi |

Tablo 4. Aydınlatma Ölçümü

| ÖLÇÜM VE CİHAZ BİLGİLERİ | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|---|---------------------------------------|--|--------|--------|--------|------|--------------------|
| Cihaz: Lüksmetre TES1335 | | | | Kullanılan Standartlar: TS EN 12464-1:2013, TS EN 12464-1:2011:2012 | | | | | |
| Ölçüm saati | Bölüm | Mesai/ Maruziyet/ Ölçüm Süresi(dk.) | Aydınlatma ortamı/ Kaynağının türü | Ölçüm sonuçları ve ortalaması(lüks) | | | | | Sınır Değer (lüks) |
| | | | | Ölçüm1 | Ölçüm2 | Ölçüm3 | Ölçüm4 | Ort. | |
| 13:30 | Ham Açma | 480/2 | Yapay/ Floresan | 169 | 171 | 176 | 181 | 174 | 150 |
| 13:40 | Şardon Makas | 480/2 | Yapay/Floresan | 430 | 450 | 520 | 540 | 485 | 300 |
| 13:50 | Jet Boya | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 365 | 649 | 1333 | 298 | 661 | 300 |
| 13:55 | Halat Açma | 480/2 | Yapay/Floresan | 337 | 442 | 335 | 328 | 360 | 300 |
| 14:00 | E Control | 480/2 | Yapay/Floresan | 500 | 445 | 345 | 390 | 420 | 300 |
| 14:05 | Kasar | 480/2 | Yapay/Floresan | 420 | 430 | 450 | 445 | 436 | 300 |
| 14:10 | Germe | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 510 | 650 | 490 | 445 | 524 | 300 |
| 14:15 | Kurutma | 480/2 | Yapay/Floresan | 410 | 395 | 440 | 500 | 436 | 300 |
| 14:20 | Yıkama | 480/2 | Yapay/Floresan | 290 | 420 | 320 | 365 | 349 | 300 |
| 14:25 | Yakma | 480/2 | Yapay/Floresan | 305 | 290 | 330 | 445 | 343 | 300 |
| 14:30 | Sanfor | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 550 | 630 | 570 | 685 | 608 | 300 |
| 14:35 | Decofast | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 500 | 590 | 565 | 605 | 565 | 300 |
| 14:40 | Kade | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 882 | 984 | 905 | 1020 | 948 | 300 |
| 14:50 | Kalite Kontrol | 480/2 | Yapay+Doğal/Floresan | 1100 | 950 | 1200 | 1000 | 1062 | 750 |
| 15:00 | Koridor | 480/2 | Yapay/Floresan | 100 | 120 | 125 | 140 | 121 | 100 |

Tablo 5. Gürültü Şiddeti Ölçümü

| Gürültü Ölçüm Bilgileri | | | | | | | |
|-------------------------|----------------|---|-----------------|------|-------|--|--------------------------|
| Ölçüm Saati | Bölüm | Mesai/ Maruziyet/ Ölçüm Süresi (dk.) | Ölçüm Sonuçları | | | Maruziyet En düşük Eylem Sınır Değeri | Sınır Değer |
| | | | Leq | Lmax | Lpeak | | |
| 10:27 | Ham Açma | 480/420/3 | 83 | 91 | 81 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤ 87 dB(C) <140 |
| 10:32 | Şardon | 480/420/3 | 84 | 88 | 86 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤ 87 dB(C) <140 |
| 10:35 | Jet Boya | 480/420/3 | 82 | 90 | 81 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤ 87 dB(C) <140 |
| 10:39 | E-Control Boya | 480/420/3 | 75 | 81 | 76 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 10:43 | Kurutma | 480/420/3 | 80 | 86 | 79 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 10:48 | Kasar | 480/420/3 | 79 | 93 | 89 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 10:52 | Yıkama | 480/420/3 | 85 | 95 | 82 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 10:56 | Sanfor | 480/420/3 | 76 | 85 | 75 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 11:14 | Apré | 480/420/3 | 77 | 86 | 77 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 11:18 | Decofast | 480/420/3 | 78 | 82 | 78 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 11:23 | Yakma | 480/420/3 | 78 | 83 | 76 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 11:27 | Halat Açma | 480/420/3 | 83 | 90 | 82 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 14:22 | Kade | 480/420/3 | 79 | 85 | 74 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |
| 12:26 | Kalite Kontrol | 480/420/3 | 70 | 78 | 72 | dB(A) ≤80 dB(C) <135 | dB(A) ≤87 dB(C) <140 |

3.2.3. Sıcaklık ve Bağıl Nem

Boya-terbiye işletmesinde seçilmiş proseslerde 5 dakikalık süre boyunca sıcaklık ve bağıl nem ölçümü yapılmış olup, gözlenen en düşük ve en yüksek sıcaklık (Min. Sıcaklık, Max. Sıcaklık) ve bağıl nem (Min. Nem, Max. Nem) değerleri kaydedilerek bir Tablo oluşturulmuştur (Tablo 7). Boya terbiye işletmesi tamamında sıcaklık değeri 30°C'nin üzerinde ve bağıl nem değerinin de standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Sıcaklık ve Nem Ölçümü

| ÖLÇÜM VE CİHAZ BİLGİLERİ | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--|-----------------|--------------|--------------|--|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--|
| Cihaz Bilgileri Testo 625 SN 02552557 | | | | | | Kullanılan Standartlar TS EN 7730: 2006 | | | | | | |
| Ölçüm saati | Bölüm | Mesai/ Maruziyet/ Ölçüm Süresi(dk) | Ölçüm Sonuçları | | | | | | | | | |
| | | | Nem (%) | Min. Nem (%) | Max. Nem (%) | Ort. Nem (%) | Sıcaklık (°C) | Min. Sıcaklık (°C) | Max. Sıcaklık (°C) | Ort. Sıcaklık (°C) | Anlık Hissedilen Sıcaklık | |
| 09:57 | Ham Açma | 480/5 | 75 | 62 | 91 | 76,5 | 30 | 25 | 30 | 27,5 | 36 | |
| 10:05 | Şardon Makas | 480/5 | 70 | 62 | 91 | 76,5 | 31 | 25 | 32 | 28,5 | 38 | |
| 10:16 | Halat Açma | 480/5 | 68 | 62 | 91 | 76,5 | 32 | 25 | 33 | 29 | 41 | |
| 10:22 | Yakma | 480/5 | 66 | 62 | 91 | 76,5 | 35 | 25 | 35 | 30 | 48 | |
| 10:30 | Germe | 480/5 | 67 | 62 | 92 | 77 | 34 | 25 | 35 | 30 | 44 | |
| 10:39 | Sanfor | 480/5 | 63 | 47 | 92 | 69,5 | 35 | 25 | 35 | 30 | 48 | |
| 10:45 | Kade | 480/5 | 60 | 48 | 92 | 70 | 35 | 25 | 36 | 30,5 | 45 | |
| 10:54 | Kalite Kontrol | 480/5 | 59 | 48 | 92 | 70 | 36 | 25 | 36 | 30,5 | 48 | |
| 11:02 | Yıkama | 480/5 | 63 | 48 | 92 | 70 | 36 | 25 | 36 | 30,5 | 51 | |
| 11:10 | Jet Boyama | 480/5 | 59 | 48 | 92 | 70 | 36 | 25 | 36 | 30,5 | 48 | |
| 11:20 | Kurutma | 480/5 | 60 | 48 | 92 | 70 | 36 | 25 | 37 | 31 | 48 | |
| 11:27 | Kasar | 480/5 | 63 | 48 | 92 | 70 | 35 | 25 | 37 | 31 | 48 | |
| 11:36 | Decofast | 480/5 | 58 | 48 | 92 | 70 | 37 | 25 | 37 | 31 | 52 | |
| 11:45 | E-Control | 480/5 | 62 | 48 | 92 | 70 | 36 | 25 | 37 | 31 | 48 | |
| 12:10 | Fikse | 480/5 | 63 | 48 | 92 | 70 | 35 | 25 | 35 | 30 | 48 | |

3.3. L Tipi (5x5) Risk Analizi Matrisi Yönteminin Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde, boya terbiye işletmesinde L Tipi 5x5 Karar Matrisi yöntemi kullanılarak fiziksel risk etmenleri risk değerlendirmesi yapılmış olup, 16 adet yüksek risk ve 30 adet düşük risk olmak üzere 46 adet risk tespit edilmiştir. Standart dışı durumlar Tablo 8’de verilmiştir. Burada “X” işareti ile standart dışı olan proses işaret edilmiştir. Tespit edilen yüksek riskler İSG mevzuatına göre kabul edilemez seviyede olup bir an önce önlem alıp kontrol ve tedbirler uygulanması ve iyileştirme önlemlerinin alınması gerekmektedir. Boya terbiye işletmesinde fiziksel risk olarak özellikle sıcaklık ve nemin etkili olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8. İşletmede Gürültü, Aydınlatma, Sıcaklık ve Bağıl Nem Standart Dışı Prosesler

| İşletmede Mevcut (Prosesler) | Gürültü (dBA) | Aydınlatma (Lüks) | Sıcaklık (°C) | Bağıl Nem (%) |
|------------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| Ham Açma | | | | X |
| Kasar | | | X | X |
| Yakma | | | X | X |
| Merserize (*) | | | | |
| Yıkama | X | | X | X |
| Kurutma | | | X | X |
| Jet Boyama | | | X | X |
| E Control | | | X | X |
| Pad Batch(*) | | | | |
| Halat Açma | | | | X |
| Germe | | | X | X |
| Şardon-Makas | | | | X |
| Liza (*) | | | | |
| Yaş Fırça (**) | | | | |
| Polrotor(*) | | | | |
| Kade | | | X | X |
| Kalandır(*) | | | | |
| Sanfor | | | X | X |
| Decofast | | | X | X |
| Kalite Kontrol | | | X | X |

*işletmede bulunulan sürede bu proseslerde gözlem yapılmamıştır.

**İşletmede bulunulan sürede makine çalıştırılmadığından bu makineye ait bulgu mevcut değildir.

3.4. Fiziksel Risk Etmenlerinin Proseslere Göre İyileştirme Önerileri

Yıkama Prosesi Gürültü İçin İyileştirme Önerileri: Yıkama prosesinde yapılan ölçüm sonucu gürültü değeri en yüksek maruziyet etkin değeri olan 85 dBA 'e eşit olarak ölçülmüştür. Bu durumda yıkama bölümünde çalışan işçilerin kulak sağlığının korunması için kulak koruyucu kullanması gerekmektedir. Etki seviyesi(L_{etki}) 5 dBA ile 10 dBA arasında olan kulak koruyucu kullanılması iyi bir koruma sağlanması için uygundur.

Aydınlatma İçin İyileştirme Önerileri: Boya terbiye işletmesinde yapılan aydınlatma ölçümlerinde tüm proseslerde aydınlatma sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür. Ölçümler gündüz vardiyasında yapıldığından gün ışığının etkisi de ölçümlere yansımıştır. Aydınlatma için tüm proseslerde riskler kabul edilebilir limitler dahilindedir. Yapılan ölçümlere göre işletmede maliyeti azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için gündüz vardiyasında (günüşiğinden yararlanılan saatlerde) lambalar

kapatılabilir. Gün ışığından faydalanılamayan bölümler de de mevcut floresanlar yerine aydınlatma lüks değeri daha düşük olan floresanlar tercih edilebilir.

Sıcaklık ve Bağıl Nem İçin İyileştirme Önerileri: Boya terbiye işletmesinde tüm proseslerde yapılan sıcaklık ve bağıl nem ölçümlerinde ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan hissedilen sıcaklık değeri, işçilerin sağlığı için tehlike oluşturacak boyutta yüksek çıkmıştır. İşverenin bununla ilgili önlem alması gerekmektedir. Alınması gereken önlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Çalışanlara verilecek tavsiyeler ve ortamda yapılabilecek değişiklikler ile çalışma ortamı daha uygun hale getirilebilir.
- Mevcut klima ve havalandırma sistemleri yeterli gelmemektedir.
- Klimaların bakımları yapılmalı, arızalı olan bölümler var ise tamir ettirilmeli, gerekirse klima sistemleri yenilenmelidir.
- İşçilerin çalışma sırasında kaybettikleri tuz ve su kaybını beslenme ile geri almaları sağlanmalıdır. İşçilerin bol sıvı alımı sağlanmalıdır.
- İşçilere termal konfor rahatlığı sunacak çalışma ortamına uygun özel kıyafetler temin edilebilir.
- İşçiler İSG fiziksel riskler konuda bilgilendirilmeli gerekli eğitimler verilmelidir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada seçilmiş bir tekstil işletmesinde boya terbiye bölümünde iş etüdü ile fiziksel risk etmenleri birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışma sayesinde iş etüdünün fiziksel risk etmenlerinin tespitinde kullanılacak bir yöntem olduğu ortaya konmuştur. Geliştirilen iş etüdü formları ile boya terbiye işletmesi detaylı olarak incelenip fiziksel risk etmenlerine yönelik ölçüm sonuçları tablolara aktarılmış, standart/standart dışı prosesler belirlenmiştir. Proseslere göre fiziksel risk etmenlerine göre risk analizi L Tipi (5x5) matris yöntemiyle yapılarak yüksek riskli prosesler tespit edilmiş, 16 adet yüksek risk 30 adet düşük risk olmak üzere toplam 46 adet risk tespit edilmiş ve çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Gürültünün yıkama bölümünde en yüksek maruziyet etkin değerine eşit olduğu tespit edilmiştir. Seçilmiş işletmenin yıkama bölümünde çalışanların kulak sağlığının korunması için kulak koruyucu donanım takmaları önerilmiştir.

Aydınlatma için işletmede tüm proseslerin standartlara uygun, ancak sınır değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Ölçümlerde tespit edilen fazla aydınlatma kabul edilebilir risk seviyesinde değerlendirilmiş olup, işletmeye enerji tasarrufu sağlamak için gün ışığının yeterli olduğu bölümlerde proseslerdeki makinelerin üzerindeki floresanların kapatılabileceği önerisinde bulunulmuştur. Gece vardiyası için ayrıca bir aydınlatma analizi yapılabilir.

Sıcaklık ve bağıl nemin hemen hemen bütün proseslerde risk oluşturacak şekilde standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. İşletmede bulunan mevcut klima sistemlerinin yetersiz olduğu saptanmış ve bu konuda acil önlem alınması gerektiği belirtilmiştir.

İşletmeye çalışan sağlığını korumaya yönelik çalışanlara eğitim verilmesi, çalışanların beslenmelerinin düzenlenmesi ve bol sıvı alımının sağlanması önerilerinde bulunulmuştur. Ayrıca çalışanlara termal konfor rahatlığı sunacak özel kıyafetler temin edilebileceği belirtilmiştir

Emek yoğun işletmelerde, çalışanların verimliliğini ve iş memnuniyeti artırmak ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliğinde de fiziksel risklerin giderilmesi büyük önem arz etmektedir. Tekstil sektöründe boya terbiye çok fazla üretim aşamalarına sahip olan emek yoğun ve makine yoğun işletmelerdir. Bu çalışma kapsamında, verimlilik artıma metodu olan iş etüdü tekniği ile fiziksel risk ölçümleri birlikte değerlendirilmiştir. İşletmede İSG fiziksel risk ölçümlerinden önce detaylı bir iş etüdü çalışması yapılmıştır. İş etüdü tekniği ile tüm proseslerin faaliyetleri dizgesel olarak ortaya konulmuştur. İş etüdü faaliyet türleri ve hangi faaliyet türünde ne kadar zaman geçirildiğine yönelik tespit yapılırken ve fiziksel risk etmenlerinden ne kadar etkilenildiği (maruziyet) de belirlenebilmiştir. Fiziksel risk etmenlerinin ölçümü ile iş etüdü ölçüm kayıtları birlikte aynı formlar üzerinde yapılmıştır. Daha önce birbirinden bağımsız iki farklı çalışma olarak değerlendirilen iş etüdü tekniği ve fiziksel risk etmenleri ölçümleri birlikte ele alınabilmiş ve böylece tek bir etüt çalışması ile hem zaman hem de emek tasarrufu yapılmıştır. Bu çalışma ile, tehlikeli sınıfta olan tekstil boya terbiye işletmelerinde, iş etüdü tekniğinin fiziksel risk etmenlerinin tespitinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu ortaya uygulamalı bir saha çalışması ile konulmuştur.

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

Akal Z. İş etüdü. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, Yayın No: 29, 2004.

Bugay Çağrı G. İş Güvenliğinde Fiziksel Risk Etmenlerinin Tespitinde İş Etüdü Tekniğinin Kullanımı- Bir Tekstil İşletmesi Örneği, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği ABD Yüksel Lisans Tezi (<https://tez.yok.gov.tr>, Tez no: 675346), 2021.

Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı. İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği 26.12.2012 tarih ve 28509 sayılı Resmi Gazete- Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. Tekstil sektöründe iş sağlığı gözetimi rehberi. <https://www.csgb.gov.tr>. (Erişim: 21.07.2022), 2022.

Camkurt MZ. İşyeri çalışma sistemi ve işyeri fiziksel faktörlerinin iş kazaları üzerindeki etkisi. TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi 2007; 20(6).

Dedeler H. Bir işletmede işyeri fiziksel risk etmenlerinin çalışanların sağlığına olan etkisinin saptanması ve değerlendirilmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2008.

- Kabakulak T. Bir tekstil işletmesinde risk değerlendirme uygulaması: 5x5 Matris ve HAZOP. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi 2019; 3(2): 97–111.
- Karaoğlan S. Tekstil sektöründe iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları. Esenyurt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı Ve Güvenliği Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Özüm FS. Kumaş boyama ve apre sanayisinde iş güvenliği önlemleri ve risk değerlendirmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (<https://tez.yok.gov.tr>, Tez no: 382847), 2014.
- Sabır EC. İş sağlığı ve güvenliği. Çukurova Üniversitesi: ÇİSAM Merkez Yayını; 2019; 5.
- Sönmez A., Arslan AR., Asal Ö., Akdere B. Ankara’da mobilya sektöründe faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde fiziksel çevre koşullarından ortam faktörlerinin değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi 2009; 12(2): 127-135.

Accessing the Ecocity Potential of Bartın (Turkey)

Nurhan KOCAN^{1*}, Fatma Betül ALP²

¹ Bartın University Faculty of Engineering, Architecture and Design Department of Landscape Architecture 74100 Bartın/Türkiye

² Bartın University Faculty of Engineering, Architecture and Design Department of Landscape Architecture 74100 Bartın/Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-9433-7007>,

²<https://orcid.org/0000-0001-8325-1806>

*Sorumlu yazar: e-mail: nkocan@bartin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.03.2022

Kabul tarihi: 17.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Ecocity criteria

Sustainable environment

Bartın

Ecological planning

ABSTRACT

The environmental, economic, social and cultural values have affected the formation and development of cities throughout the history. The industrial revolution in the 19th century brought about a rapid transformation in the cities and it caused the change of the values that make up the city. The physical changes experienced by the cities caused rapid destruction of the environment and natural resources, thus they damaged the ecological structures of the cities. The reasons have led people to search for sustainable environment and nature. New urban forms have emerged to prevent harmful effects on the environment, to use resources sustainably, to protect the existence of nature in order to ensure the comfort of living spaces. Eco-cities, as a self-sufficient city model that encourages the rational and sustainable use of resources, are one of these urban forms. Ecocity concept considered this in mind. This study was carried out in Bartın City, which has urban, rural and coastal areas and important resources. In the study, the analyzes of the natural and cultural potential of the city were analyzed using geographic information system techniques. The potentials affect the ecocity possibility of the city. The data were stored in the ArcGIS 10.8 and thematic maps were created. Then, by overlapping the maps, the eligibility criteria were questioned. The potentials of Bartın city, which are suitable for being an ecocity, have been revealed. Within the scope of sustainability, the city's economic, social, cultural achievements and an ecocity model proposal has been presented.

Ekokent Potansiyeline Erişim-Bartın/Türkiye Örneği

Research Article

Article History:

Received: 22.03.2022

Accepted: 17.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Ekokent ölçütleri

Sürdürülebilir çevre

Bartın

Ekolojik planlama

ÖZ

Tarih boyunca çevresel, ekonomik, sosyal ve kültürel değerler kentlerin oluşum ve gelişimini etkilemiştir. 19. yüzyılda yaşanan sanayi devrimi, kentlerde hızlı bir dönüşüm meydana getirmiş ve kenti oluşturan bu değerlerin de değişimine neden olmuştur. Kentlerin fiziksel anlamda yaşadığı değişimler çevrenin ve doğal kaynakların hızla tahrip olmasına neden olarak kentlerin ekolojik yapılarına zarar vermiştir. Bu sebepler insanları sürdürülebilir çevre ve doğa arayışlarına sürüklemiştir. Ekokentler bu negatif etkilerin daha kötüye gitmesini önlemek, kaynakları sürdürülebilir kullanmak, daha yaşanabilir çevre oluşturmak düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. Ekokent kendi kendine yetebilen bir kent modelidir. Bu model kaynakların rasyonel ve sürdürülebilir kullanımını teşvik eder. Bu çalışma kentsel, kırsal ve kıyı, alanları ile önemli kaynaklara sahip Bartın Kenti'nde yapılmıştır. Bartın kentinin sahip olduğu ve ekokent olabilmeye uygun potansiyelleri

coğrafi bilgi sistemleri aracılığı ile analiz edilmiştir. ArcGIS 10.8 yazılımı verilerin depolanması, analiz ve tematik haritaların yapılması amacıyla kullanılmıştır. Haritaların üst üste çakıştırılması ve sorgulanmasıyla uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Kentin ekokent ölçütlerinde vurgulanan parametrelere ne kadar uygunluk gösterdiği bu şekilde saptanmıştır. Çalışmanın sonucu Bartın kentinin ekokent olmak için yeterli potansiyelde olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda sürdürülebilirlik kapsamında Bartın kentinin ekonomik, sosyal, kültürel kazanımları ile geleceğe yönelik ekokent model önerisi sunulmuştur.

To Cite: Kocan N., Alp FB. Accessing the Ecocity Potential of Bartın (Turkey). *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 383-407.

1. Introduction

Population growth, rapid advancement of technology, and the growing need for development with the industrial revolution have led to the emergence of many problems in urban areas and the problems to become more appreciable. In today's cities, where many problems are experienced, the solution is not to flee from the cities to the countryside or migrate to other areas. It is necessary to change the existing conditions, which is a new understanding, in order to protect the rest of nature and improve the quality of life. With this understanding, solutions are produced that integrate sustainability and ecology concepts and principles with the components in the city. One of these solutions is the creation of “environmentally friendly” cities that meet their own consumption needs with their own production within the urban ecosystem (Işıldar, 2012). As a result, new city forms have appeared to prevent our cities from getting worse and to ensure the comfort of living spaces. In these city forms, priority is to ensure the sustainable use of natural resources that exist today by prioritizing the needs of the future (Nami, 2014). Cities are the common living space of people and all habitat. By minimizing the conscious or unconscious pressures of people on the components of the city and by ensuring the balance between the ecosystem and the human, the city should be harmonized with the ecological conditions.

According to Samur (2010), natural areas have been damaged due to the misuse of users and this case has cause to a decrease in the species. As these problems continue, the rapid decrease in species diversity and the ecological, economic, spiritual and cultural damage we obtain from natural resources are inevitable. Therborn (2000) argued that migration from cities, which are the source of many environmental problems, to rural areas or other areas is not a solution, and that the current conditions of cities should be improved in order to protect the remaining part of nature. This is an idea that has integrated the concepts and principles of sustainability and ecology with the components in the city. Işıldar (2012) stated that balancing production and consumption in natural ecosystems and creating “environmentally friendly” cities that meet their own consumption needs through their own production has become a necessity. The search for a non-polluting, environmentally friendly, ecological urban model instead of a polluting and consuming city (Göksu, 2011).

We carried out this study in Bartın City to determine and improve the situation in which urban, rural and coastal areas are in integrity. Bartın City is one of the rare cities with its 59 km coastline in the

Black Sea, economic product power in rural areas, natural vegetation diversity and historical city structure. The aim of the study is to highlight the potentials of this city, which is close to the Filyos port and natural gas reserve, to adapt the ecological city principles to the city and to evaluate the suitability of the city as an ecocity. In the case of realization of the suggestions in the study, it is thought that the city can be a model for other cities by reducing the effects of people on the environment and shaping the city-human relations correctly. It is known that the concept of sustainability is an important instrument in determining the future and in studies to prevent environmental problems. The realization of the suggestions suitable for the area in the study is possible by reducing the effects of humans on the environment and shaping the city-human relations correctly. It is thought that the city could create a suitable model for other cities by planning in a sustainable and ecological way and realizing design proposals.

1.1. Ecocity

Throughout history, urban areas and the lost urban identity have led to many environmental problems as a result of misuse. The concept of ecocity has come to the fore especially as a result of changes such as global warming, unconscious consumption of water resources, environmental pollution, air pollution, and rapid consumption of natural resources. Thus sustainable use of natural areas and resources were understood to be important (He et al., 2017).

Ecocity covers minimizing the rapid consumption of resources, developing resources, ensuring waste recycling, improving urban agriculture, reducing energy consumption, ensuring clean energy production and saving water. Providing the maintenance of buildings and infrastructure, prolonging their life, supporting the production of housing suitable for nature by preventing illegal housing, and making use of the existing building stock in the most efficient way are other features (Samur, 2010).

While cities are centers of development and civilization, on the other hand, they are the focus of rent that puts pressure on the natural environment and ecosystems (Meydan Yıldız, 2016). Ecocity supports sustainability at different spatial scales; it is based on the balance between environmental factors, economic resources and urban dwellers. Therefore, the city model that encourages the rational and sustainable use of resources is called an ecocity.

The legal and administrative structure of environmental problems should be handled with a historical approach and human-environment unity and economy-ecology balance should be established by reconciling them with their cultural values (Meydan Yıldız, 2016). The efforts of cities to develop only economically will not leave us areas where we can live in the future. At the same time, it will leave tomorrows where our needs cannot be met in any way. It is necessary to think about the living spaces of future generations, to adopt fair protection and balanced use and to provide the benefit of nature by giving more than we consume to nature. It is observed that in ecocities are taken into account, initiatives that offer better conditions to urban people, aim to live away from excessive consumption, reduce the use of motor vehicles, and prioritize the development of environmentally

friendly transportation systems, more public spaces and green spaces (Nami, 2014). In some countries around the world, new cities are produced that are planned holistically to achieve these goals. The ecological urbanization projects are partially implemented through transformation studies in certain parts of the cities (Tosun, 2017).

In order for the city to become an ecocity, it must comply with some planning principles (Aytis and Polatkan, 2009; Göksu 2011; Çetin, 2015).

These principles are:

- Creating ecological awareness,
- Planning and designing the city with its natural features,
- Use of non-toxic, renewable and local materials in the buildings,
- Ensuring public participation,
- Prevention of environmental pollution,
- Protection of plant and animal communities and species,
- Increasing the efficient use of water resources, ensuring the recycling of waste water,
- Using renewable energy to reduce fossil energy use,
- Using environmentally friendly transportation systems, planning pedestrian and bicycle road networks,
- Spreading green areas in the city and improving them in terms of quality and quantity,
- Recycling of wastes,
- Ensuring the continuity of ecological life in the city.

The criteria developed for ecocities and the indicators used to measure these criteria are given in Table 1.

Table 1. Ecocity criteria (Ecocity Builders, 2011; Işıldar, 2012)

| | Criteria | Indicators |
|-----------------------|--|--|
| Scope | Location | Urban infrastructure (accessibility to existing potential and basic needs) |
| Urban texture | Building density | Affordability of the land demand (idle area, green area, urban area) |
| | Multiple usage | Area density The ratio of residential area to non-residential area in the total area |
| Transportation | Public spaces | Access to basic amenities: school, playground, shopping center, recreational areas, etc. Its size and quality |
| | Landscape area (accessibility and surface quality) | Accessibility to green areas, number of people living near green areas Ecological quality of open green areas (trees, water, grass areas, etc.) |
| | Transport infrastructure | Reducing private car traffic Length of highways / working population ratio Bicycle paths / working population ratio |
| | Close to public transport | Access to public transport within a 300m radius or being at a distance of 150 m to stops |
| | Noise (noise from transport) | The amount of day and night noise exposure, the number of people exposed to noise that exceeds the limits |
| | Parking areas | Comparison of transportation with private cars and public transportation |
| Energy Flow | Energy requirement | Maximum energy requirement for heating, cooling and other purposes |

| | | |
|------------------------------|--------------------------|--|
| | Energy efficiency | The amount of solar energy used, thermal insulation |
| | Greenhouse gas emissions | Share of renewable energy sources, their contribution to global warming (CO ₂ eq / non-renewable energy generation / MWh) |
| Material Cycle | Construction materials | Minimum use of materials, use of renewable, recyclable and local materials |
| | Earth movement | - |
| | Water management | Measures to minimize water usage |
| Socio Economic Values | Social infrastructure | Social infrastructure index - social diversity and integration |
| | Economic infrastructure | Economic infrastructure index |
| | Labor | Job and unemployment rates |
| | Profitability | Benefit-cost analysis |
| Processes | Holistic Planning | Multidisciplinary planning team and examination of different scenarios |
| | Public participation | Indices measuring public participation in the processes and the quality of participation |

Urban green spaces are very important in the way of becoming an ecocity, as they directly or indirectly meet the above-mentioned functions.

These functions are;

- Saving energy; green areas provide cooling in buildings in summer. In winter, they create a buffer zone and save energy by protecting the buildings against cold weather.
- Improving air quality; trees have the ability to filter by absorbing impurities in the air or by keeping them on the leaf surfaces. Trees absorb CO₂ from the atmosphere by performing photosynthesis and store it in their structures.
- Climate regulation; green areas keep the temperatures in the city under control, reducing the heat in the summer and keeping the air warm by keeping the cold in the winter. Thus, plants balance the climate of their environment. Trees not only reduce the warming of nature by spreading the water they take from the soil into the air, but also prevent the light from contacting the surface by refracting the light through their leaves, while cooling the area. These functions are particularly important in terms of global warming.
- Effect on relative air humidity; plants prevent soil erosion by reducing the speed of the wind. At the same time, plants secrete moisture into the environment, keeping the soil warm and moist.
- Capturing carbon in the atmosphere and reducing the greenhouse effect; plants reduce the greenhouse gas effect by trapping CO₂, N₂O, CH₄, water vapor, and other gases.
- Improvement of soil quality-biodegradation; the mixing and disintegration of organic materials such as branches, leaves, fruits and flowers feeds the soil creatures, enriches the soil in terms of nutrients and increases microorganism activities. In soils with vegetation, plant roots help aeration of the soil and infiltration of water into the soil (Hepcan, 2019).
- Flood and flood prevention; vegetation, especially trees, reduces the speed of precipitation water, allows water to pass to the soil and reduces the amount of water passing into the surface flow. Thus, they prevent the damage that may arise from flood and overflow situations.

- Ecological restoration and biodiversity conservation; water resources, soil and similar natural elements in green areas can preserve their natural structures without being affected or slightly affected by the pollution of the city. These areas protect biological diversity by creating important habitat areas for the protection and development of birds, insects and other wildlife in cities (Önder and Polat, 2012).
- Noise reduction; green spaces have the potential to reduce the bad effects of urbanization, make cities more usable for living, reverse inappropriate urbanization and reduce transportation demand. While cleaning the air, it helps to create suitable microclimatic conditions by reducing noise pollution (Ceylan, 2007).
- Facilitating educational and cultural activities; urban open green spaces have recreational functions that provide entertainment and recreation to the people of the city, regardless of their age, gender, social class, and the opportunity to participate in various sports and cultural activities. These functions of urban open green spaces are important for the citizens to use their free time (Ceylan, 2007).

2. Materials and Methods

2.1. Material

Bartın city with 19 neighborhoods connected to the city center was evaluated in the study. The photographs of the city of Hamburg taken from the city (2019), which was examined as an example of an ecocity.

The Black Sea surrounds the north of Bartın, which is located in the Western part of the Black Sea Region, with a 59-kilometer coastline. Kastamonu is located in the east of the province, Karabük in the southeast, and Zonguldak in the west (Figure 1). Its area is 2099 km² and its altitude is 25 m. Four districts in the province, namely Merkez, Amasra, Ulus and Kurucasıle; and there are 4 towns: Hasankadı, Kozcağız, Kumluca and Abdipaşa. There are 138 villages in the central district and 265 villages in the province (Görmüş et al., 2016).

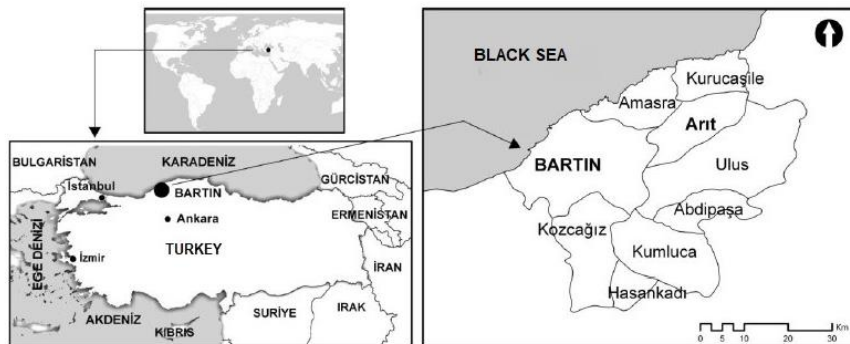


Figure 1. Location of Bartın province

2.2. Methods

The reports of the relevant institutions were used. Neighborhood boundaries of the study area were created in ArcGIS 10.8 software using TURKSTAT and Openstreetmap (2020). Using Openstreetmap

and Google Earth Pro (2020) satellite bases, the types of land use in the city were digitized for land classification. High resolution 12.5 × 12.5m digital elevation models of the study area were downloaded from Earth Data (2020) and made available in ArcGIS 10.8 software. The slope map was produced from these data. LANDSAT 8 satellite images from Earth Explorer (2020) were used and controlled classification was made in ArcGIS 10.8 software. As a result of the classification, the distribution of these areas is shown on the map. 1 / 100.000 landslide inventory of MTA was used in the preparation of the landslide map (Earth Sciences, 2020). The cartography application HGM Atlas Kure (2020) of General Directorate of Maps was used to determine the presence of water. Soil and land use capability maps were created by using the data of the Ministry of Agriculture and Forestry (2020). Photoshop CS6 program was used to organize the necessary data on the computer schematically. Maps were created by determining the facilities available in the city of Bartın. Evaluations were made regarding the potential of Bartın to become an ecocity; and recommendations were made in line with these goals.

3. Result

The findings of the study regarding the slope, soil, land feasibility classes, erosion risk, and water availability for the study area are given in this section. Later, the ecocity criteria of Bartın city was determined.

The dominant slope group in the study area is 0-5%. Flat and slightly inclined areas make up 75%. 5-10% slope values are suitable for settlement map (Figure 2). They contribute to the economic infrastructure due to their intended use such as agricultural development, transportation routes, etc. In Orduyeri, Ağdacı, Gölbucağı, Karaçay neighborhoods, which are within the study boundaries, there are slopes and multi-slope areas in places. Misuse of land in these areas can cause disasters (Table 2).

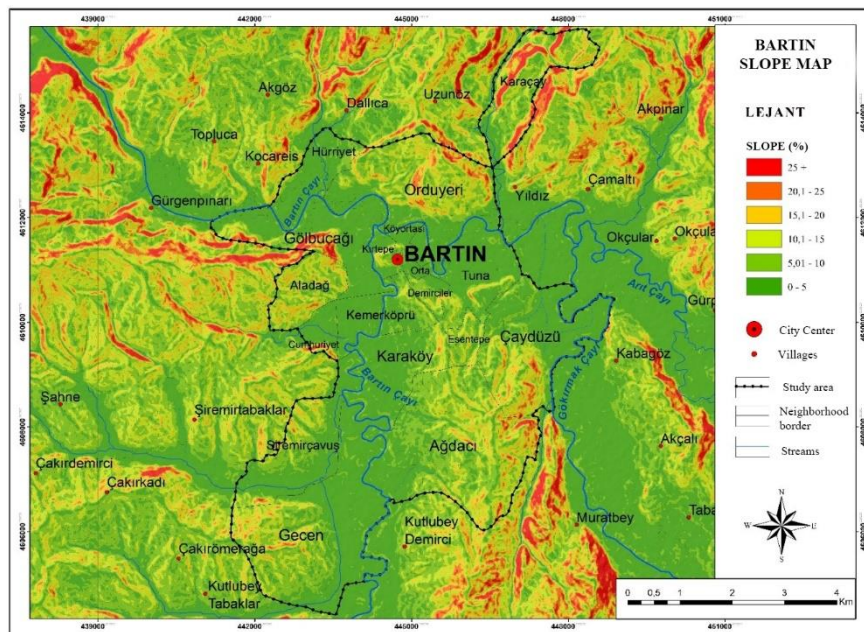
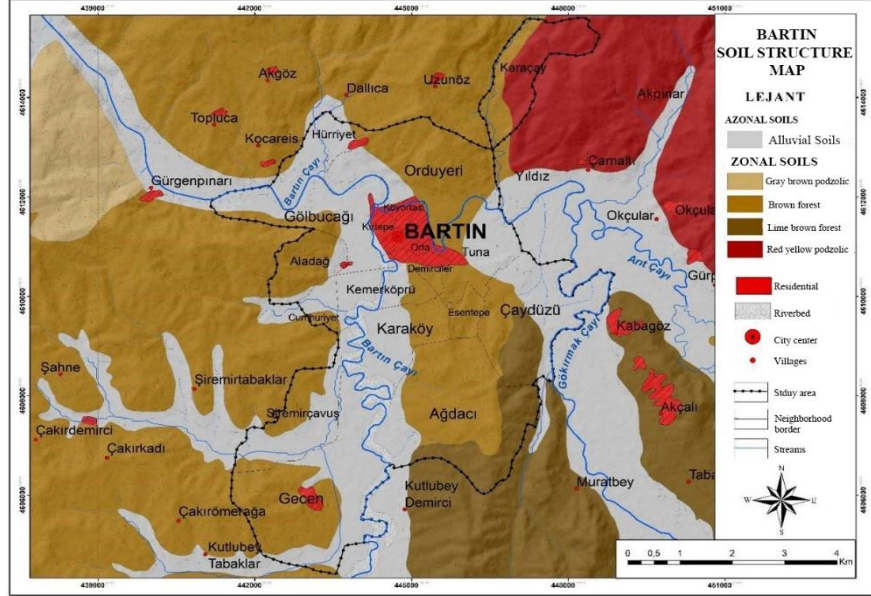


Figure 2. Map of the slope groups of the city center and its surroundings

Table 2. Area and percentage distributions of slope groups

| Slope groups (°) | | Area (ha) | Percent (%) |
|------------------|------------------|----------------|---------------|
| 0-5 | Flat | 2027.75 | 50.01 |
| 5-10 | Slightly sloping | 1025.06 | 25.28 |
| 10-15 | Less inclined | 624.07 | 15.39 |
| 15-20 | Inclined | 255.91 | 6.31 |
| 20-25 | Very inclined | 76.23 | 1.88 |
| 25+ | Slope | 45.34 | 1.12 |
| Total | | 4054.35 | 100.00 |

**Figure 3.** Soil structure of the city center and its surroundings

Due to the frequent rains in the province, it makes positive changes in the vegetation and soil structure of Bartın. The soil structure of the city center and its surroundings is given on the map (Figure 3).

Soil groups in the study area and the area they cover are given in Table 3.

Table 3. Soil groups area and percentage rates

| Soil groups | Area (ha) | Percent (%) |
|---------------------|----------------|---------------|
| Alluvial | 1613.96 | 39.81 |
| Riverbed | 143.59 | 3.54 |
| Brown Forest | 1692.22 | 41.74 |
| Calc Free Brown | 281.58 | 6.95 |
| Red Yellow Podzolic | 157.68 | 3.89 |
| Settlement | 165.31 | 4.08 |
| Total | 4054.35 | 100.00 |

81.55% of the study area, which is 4054,35 ha in total, is brown forest soils and alluvial soil. Since brown forest soils are rich soils, it should be evaluated. The prevalence of Bartın creek in the whole city and the fact that it passes through every region of the city contributed to the formation of alluvial soil in the city. Land capability classes have an impact on the topographic structure and land use potential of the city. Study area soil capability classes are given in Figure 4. In the province, the land

capability classification is mostly I. class and IV. Class. Settlements located on the II and III class soil structure in the province (Table 4).

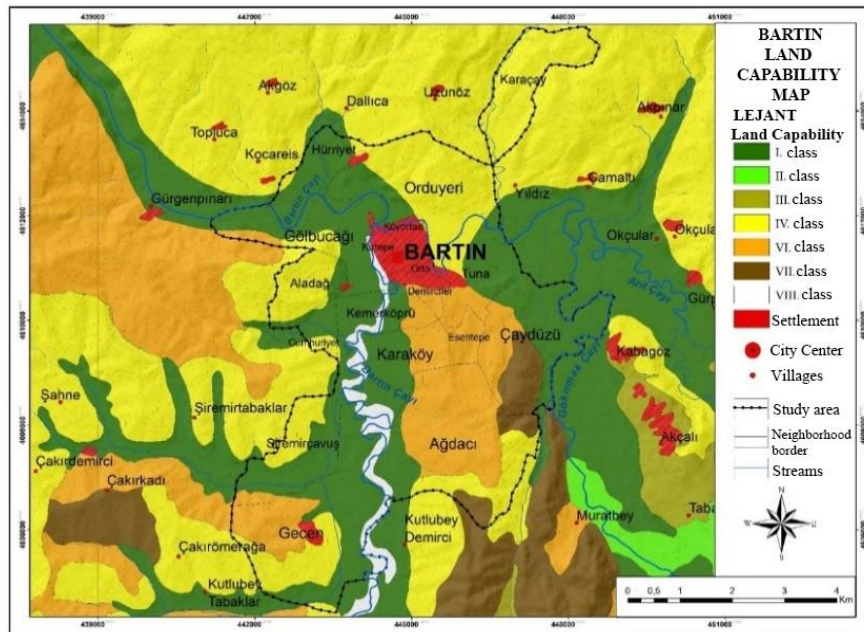


Figure 4. City center and surrounding land capability map

Study area soil capability classes are shown in Table 4. As the slope of the river basin in study area increases, the risk of landslides increases. The risk increases with floods and floods, especially in the period when rainfall is high. Areas with landslide risk are given in Figure 5. The area covered by the landslide risk is 236.38 (ha) in total.

There are three main streams in Bartın. These are Bartın, Arıt and Kozcağız. Bartın city center is 15 km from the sea. It is built on the plain formed by Bartın River and its branches. Bartın Stream constitutes the irrigation water source of the basin (Tuncer, 2010). Among the formations that make up the soil structure in the Bartın basin, there are fine-textured limestones and blue marls and groundwater in the valley alluviums. These comply with drinking and potable water standards. It is observed that the groundwater level is close to the surface in the wells drilled in alluvium. It has good quality drinking water (Aytekin, 2008). Streams and seasonal river surfaces in Bartın province are given in Figure 6.

Table 4. Soil capability classes, their area and percentage rates

| Soil capability classes | Area (ha) | Percent (%) |
|-------------------------|----------------|---------------|
| I. Class | 1613.96 | 39.81 |
| IV. Class | 1147.05 | 28.29 |
| VI. Class | 826.46 | 20.38 |
| VII. Class | 157.98 | 3.90 |
| VIII. Class | 143.59 | 3.54 |
| Settlement | 165.31 | 4.08 |
| Total | 4054.35 | 100.00 |

Until the 1980s transportation was possible from the Black Sea to the city center (Yalı Pier) with ships of 500 tons in Bartın Stream. As a result of natural processes (1998 big flood) and human intervention, changes occurred in the streambed. For this reason, today only small tonnage boats can be accessed (Ankaralı, 2019). Bartın River and the flat areas near it constitute the agricultural areas of the city. It is located in the inner city and close to the river *Salix alba*, *Populus nigra*, *Robinia pseudoacacia*, *Platanus orientalis*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus angustifolia subsp. oxycarpa*, *Alnus glutinosa*, *Juglans regia*, *Ficus carica*, *Cornus sanguinea*, *Rubus sanctus*. *Salix alba* and *Populus nigra* are the dominant species (Yılmaz, 2001; Ankaralı, 2019).

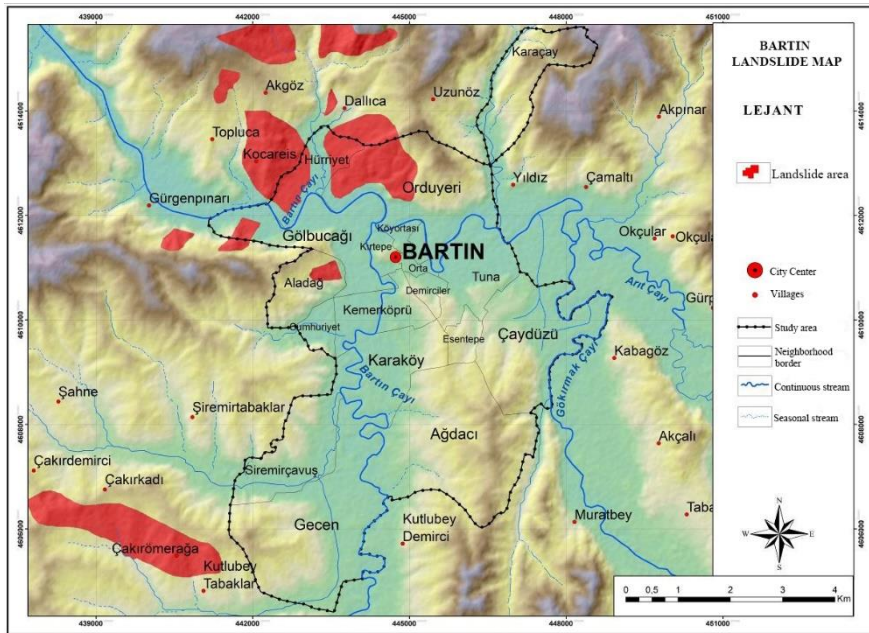


Figure 5. City center and surrounding landslide risk map

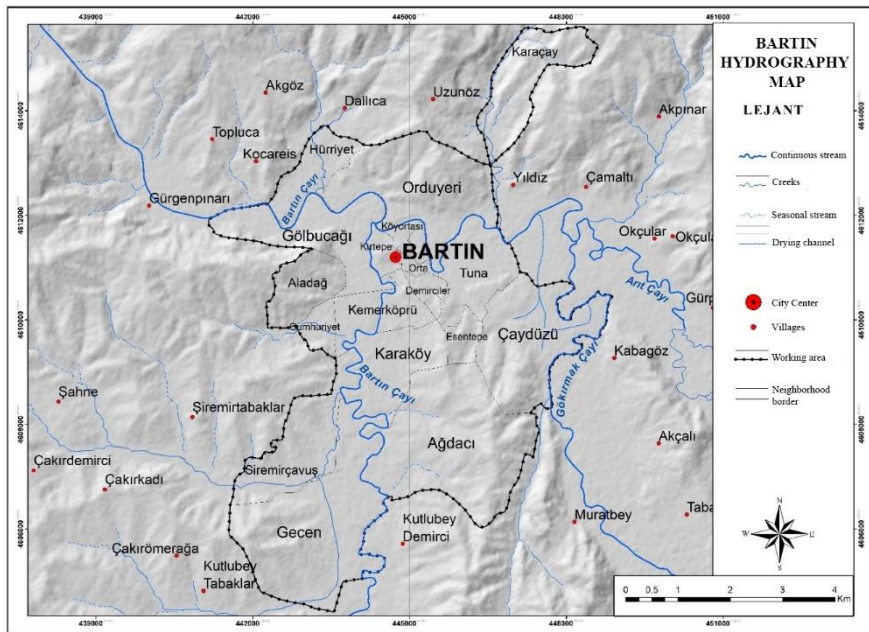


Figure 6. Hydrographic map of the city center and its surroundings

170 mammal species found in Türkiye (Classis: Mammalia) of 56 mammal species belonging to 20 families (32%) are located in Bartın. In addition, 483 species found in Türkiye (Classis: Aves) of 200 bird species belonging to 42 families (41%) are located in Bartın (Görmüş et al., 2016).

Bartın has a mild maritime climate (Black Sea Climate), with hot summers and cool winters. The annual average temperature is 12.8°C and the annual average rainfall is 1046.2 mm (General Directorate of Meteorology, 2020).

There are 19 neighborhoods in the study area (Figure 7). The total area of Bartın city is 209.900 hectares.

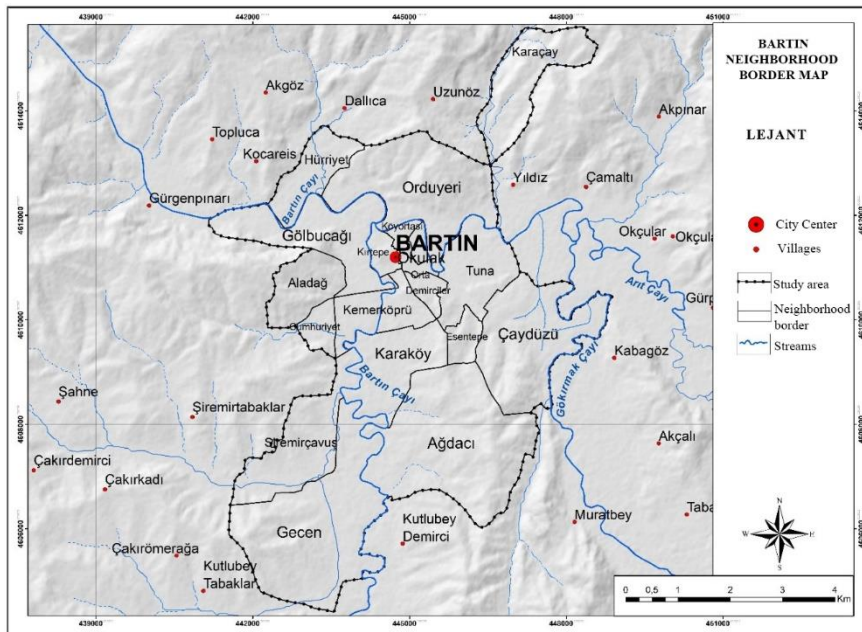


Figure 7. Study area neighborhood boundaries map

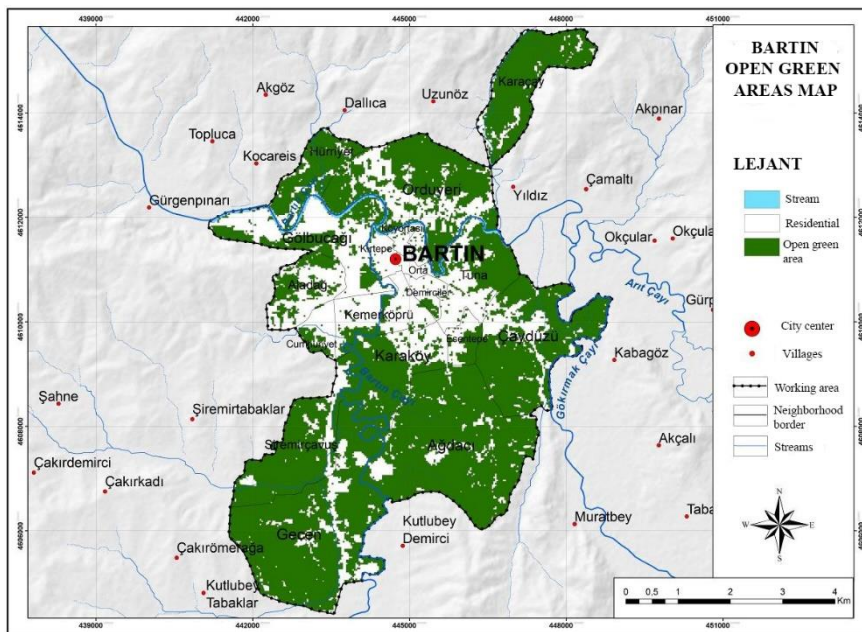


Figure 8. Study area green space-urban relationship map

The total area of the study area is 4094 hectares. Bartın city, corresponds to approximately 1/51 of the provincial borders. Among the central districts of Bartın, Gecen, Ağdacı, and Orduyeri neighborhoods have the largest area. Okulak, Orta, Kırtepe, and Demirciler neighborhoods are the smallest. It is observed that the users concentrate around Bartın Stream, where recreation areas are located. Neighborhood boundaries are shown in Figure 7 and residential area-green area relationship is shown in Figure 8.

The population of Bartın province is 198.249 according to 2019 data. 49% of the population is male and 51% is female. Bartın population density is 95/km² (Figure 9). Bartın central district population is 155.765 according to 2019. The total population of the study area is 74.609 according to 2019 data.

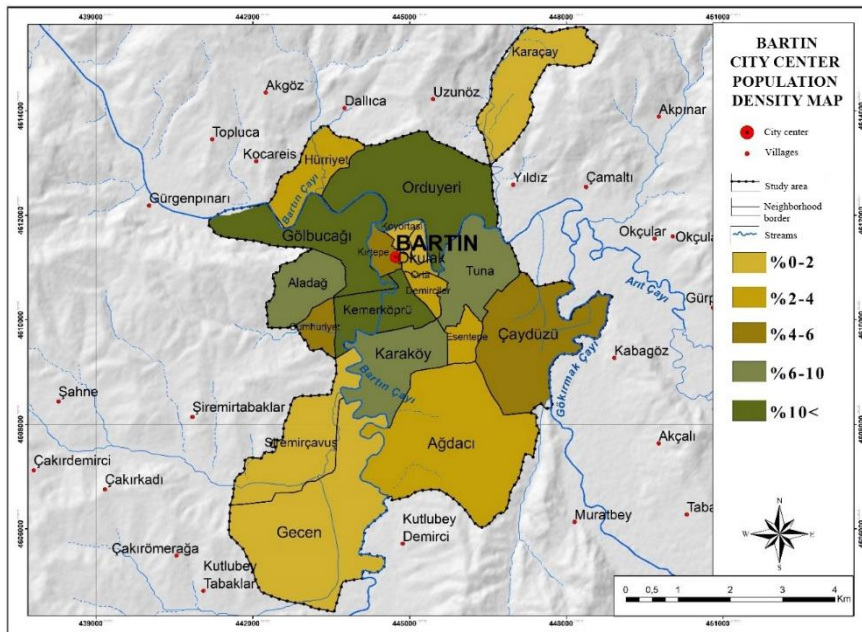


Figure 9. City center population density

When the distribution of the population by neighborhoods is examined, it is seen that there are 11.712 people in Kemerköprü District, 7.991 people in Orduyeri District, 7.616 people in Gölbucağı District and 5.951 people in Tuna District. 44.58% of the urban population lives in these 4 neighborhoods (Türkiye Population, 2020). The population density is shown in Figure 9 and the housing density is shown in Figure 10. Considering the green area density of the study area, it was observed that the ratio was sufficient in the total area (Table 5).

| Green area | Area (Ha) | Percent (%) |
|-------------------|------------------|--------------------|
| Stream | 49.92 | 1.23 |
| Residential | 1211.13 | 29.90 |
| Green area | 2789.94 | 68.87 |
| Total | 4050.99 | 100.00 |

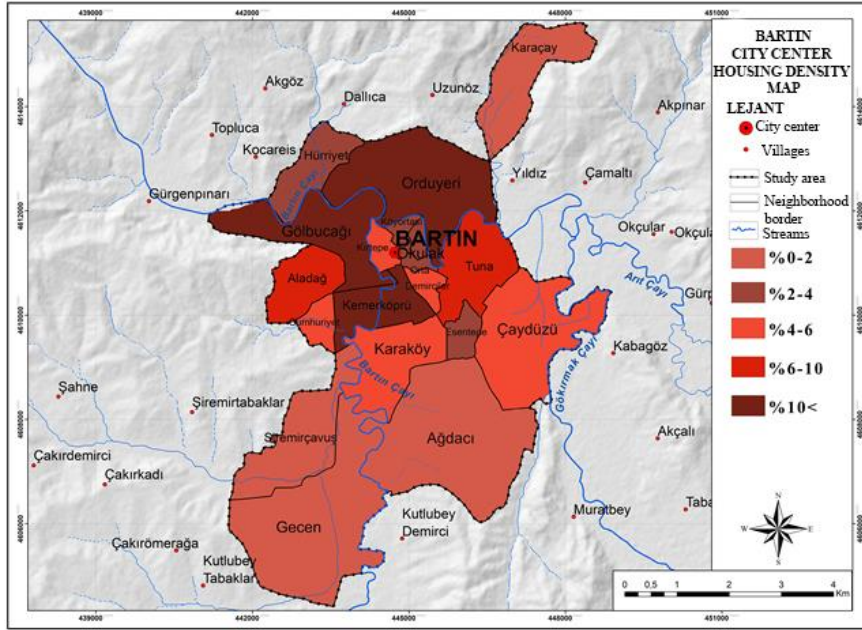


Figure 10. Urban center housing density

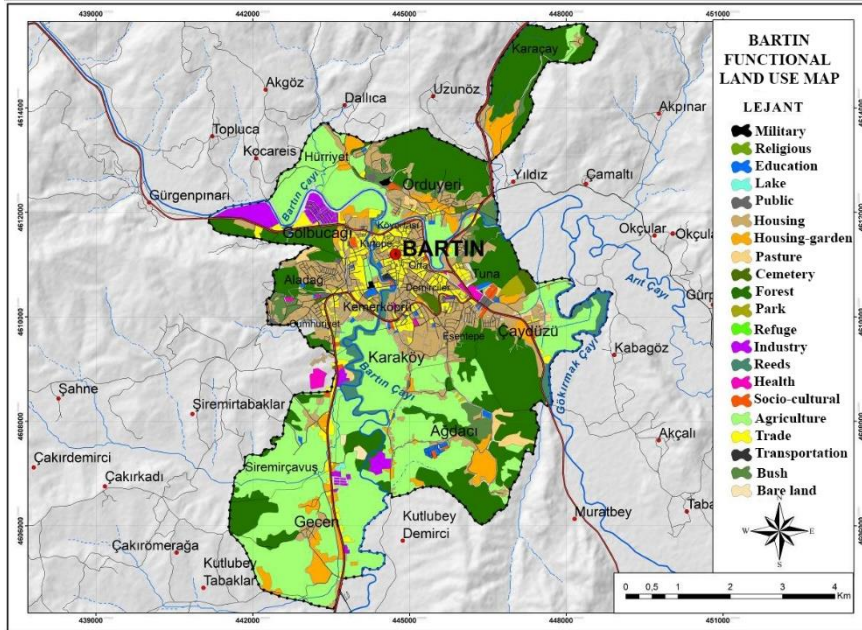


Figure 11. City center functional land use map

Historical residences and buildings that require restoration in Bartın city are abundant in the first residential areas of the city. In the developing neighborhoods, the buildings are constructed in reinforced concrete and in separate order. The study area land use map is given in Figure 11 and its rates are given in Table 6.

Table 6. Study area functional land use areas and densities

| Functional Land Use | Area (Ha) | Percent (%) |
|---------------------|-----------|-------------|
| Military | 3.58 | 0.11 |
| Public | 15.41 | 0.48 |
| Bush | 71.60 | 2.25 |

| | | |
|------------------|----------------|---------------|
| Bare Land | 6.64 | 0.21 |
| Religious | 2.34 | 0.07 |
| Education | 24.09 | 0.76 |
| Lake | 2.82 | 0.09 |
| Housing | 505.28 | 15.88 |
| Housing - Garden | 193.29 | 6.07 |
| Pasture | 41.12 | 1.29 |
| Cemetery | 23.58 | 0.74 |
| Forest | 448.44 | 14.09 |
| Park | 17.44 | 0.55 |
| Refuge | 1.77 | 0.06 |
| Health | 20.07 | 0.63 |
| Industry | 73.89 | 2.32 |
| Reeds | 112.31 | 3.53 |
| Socio-cultural | 18.05 | 0.57 |
| Agriculture | 139.41 | 43.82 |
| Trade | 203.90 | 6.41 |
| Transportation | 2.08 | 0.07 |
| Total | 3182.10 | 100.00 |

According to the survey conducted by Karayılmazlar (2017), 35% of the citizens prefer public transportation and 31% prefer public transportation as a private vehicle. Public spaces and parks are shown in Figure 12.

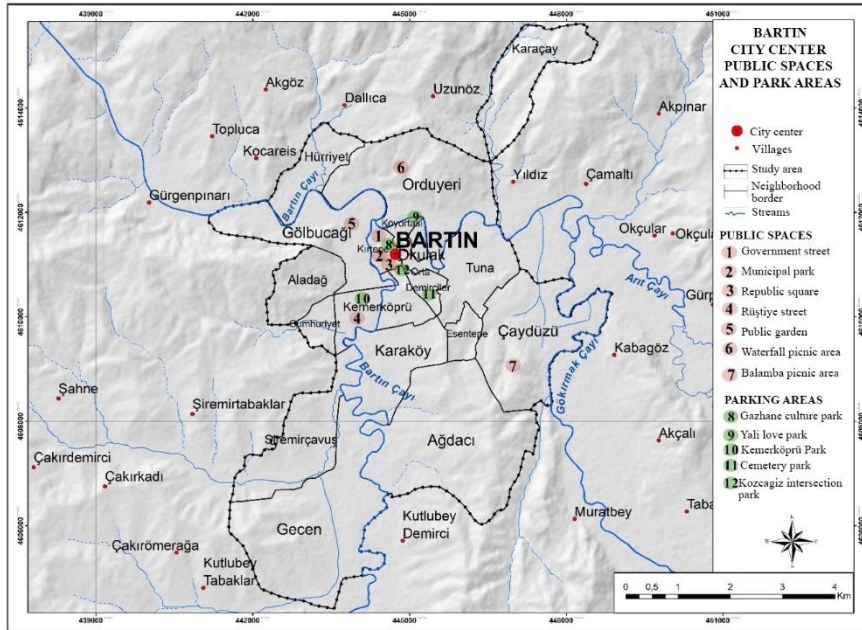


Figure 12. Public spaces and parks that are heavily used in the city center

Children's parks and neighborhood parks were determined within the scope of green spaces in Bartın city. Considering that the users can reach these areas within walking distance without the need for a private vehicle, a 300 m distance transportation analysis was made (Figure 13).

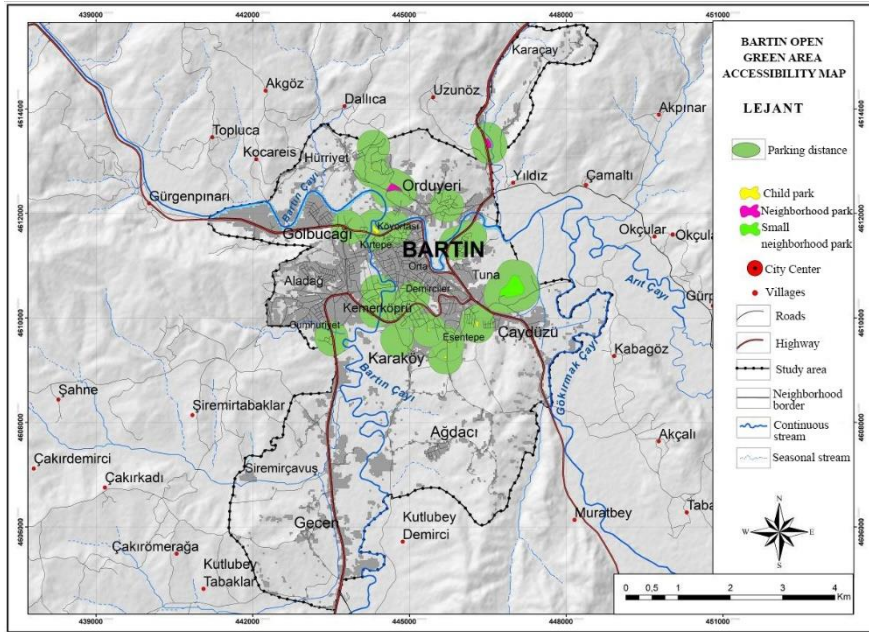


Figure 13. Transport map, 300 m to the green areas

Urban transportation in Bartın is provided by the municipality's public buses. There is no holistic planning for transportation in areas outside the city center. There are transportation problems for developing areas. There is no airport or railway in Bartın city. Apart from these, transportation is provided on foot (Figure 14, 15).

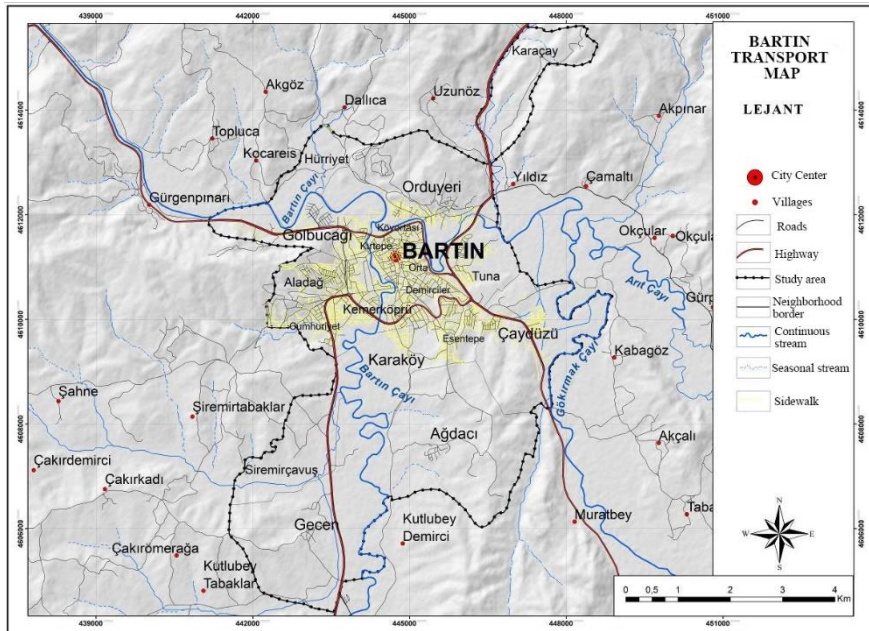


Figure 14. City center vehicle-pedestrian transport map

There are no planned bicycle paths in the city center and throughout the city. However, there is a bicycle path planning. Talay et al. (2010) in the study to determine the recreational tendencies of the Bartın city stated that the majority of the participants went to the recreational areas in the city on foot

(75.1%) to the recreational areas outside the city by private auto (65.1%) or public transportation (33.8%).

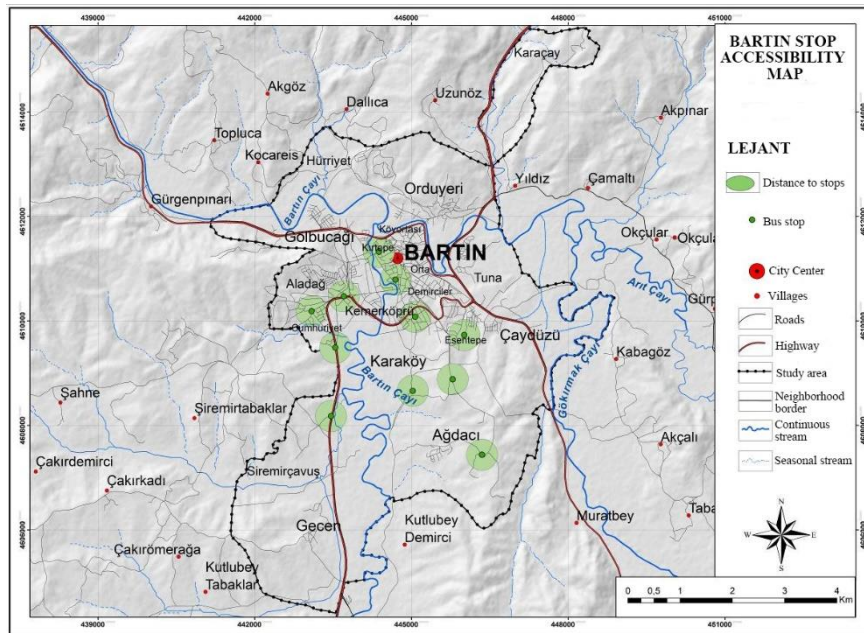


Figure 15. Transportation map to the stops as 300 m in the city center

Delikanlı et al. (2015) in their study stated that the main source of noise in Bartın city is traffic which is because the streets are narrow and the buildings are adjacent, and the noise is echoing. Equivalent noise levels were found between 52.8-77.5 dB (A) as a result of the measurements made at designated points within the settlement. The highest value was determined as 70.3 dB (A). The noise levels of all points measured in the city center exceed the limit values in the morning and evening.

When the natural gas data used throughout the province are examined; while the usage rate was 1% in 2013, this rate reached 28% in 2016. While the solid fuel usage rate was 99% in 2011, this rate decreased to 72% in 2016 (Anonim, 2018).

Bartın solar power plant has the potential to meet the daily electrical energy needs of 84 people with an average of 276.500 kWh electricity generation (Energy Atlas, 2020). According to Gümüşcü (2010), 103 m³ of biogas production per day and 37.080 m³ per year is provided from 100 cattle. If this gas is converted to electrical energy, 174.276 kWh of electrical energy is generated annually. Electricity unit amount is 0.06 euro (2021 year). If these figures are adapted to the study area; it has been determined that there are approximately 40.000 cattle in Bartın city center, and 41.200 m³ of biogas per day and 14.832,000 m³ of biogas per year will be produced. The annual cost of 69.710,400 kWh of electrical energy is 4.344.500 euro. According to 2018 data, it was determined that there are 34.818 houses in Bartın city center. Assuming that a 100 m² house needs approximately 15.000 kWh of energy per year. The annual electricity requirement of the residences in Bartın city center is 522.270,000 kWh per year. It has been concluded that 7.4% of the annual energy need can be met from biogas. Carrying out the necessary studies in this issue will provide benefits both for city users and economically, socially and environmentally.

Bartın is inadequate in terms of water pollution and water management in the city center. Domestic wastewater and solid wastes in the city are directly or indirectly dumped into river beds and these wastes reach the sea. A wastewater treatment facility was established in the city in 2017 and waste water was prevented from flowing into the Bartın river. The project will be implemented in 2021 for the ecological restoration of the Bartın River.

A significant portion of the population in Bartın city center works in the agriculture and mining sector. The fact that the industry and service sectors are not developed enough in the province causes the wage earners and employer ratios to be low (Aytekin, 2008). Approximately 9000 people are employed in the industrial sector. Unemployment rate is 6% (Tulu, 2017). Tourism is another factor that will contribute to the economic infrastructure of Bartın city.

According to Bartın strategic plan external stakeholder analysis results, traffic is at the top of the city's problems. External stakeholder analyzes conducted in previous years showed that water quality and air pollution was the leading problems. Successful results have been obtained from the studies carried out for these in the city. Solid fuel consumption, which is the biggest factor of air pollution, has been reduced and natural gas usage has been increased with the works carried out by the municipality. In addition, investments were made for cultural and sports activities (Anonim, 2019).

The studies have been carried out to raise awareness of the public by organizing panels and seminars on heat insulation, energy saving and similar issues in buildings. With the "Renewable Energy and Energy Efficiency Technical Support Project" carried out within the scope of Bartın University, cooperation between municipalities and universities has been established. Studies on recycling have been initiated and its continuity is ensured (Haber Türk, 2020).

4. Conclusion

Since natural and cultural factors are different in cities, each city should be evaluated and planned in its own conditions. The evaluation of Bartın city within the scope of the ecocity criteria is shown in Table 7.

Table 7. Evaluation of Bartın city in terms of ecocity criteria

| | CRITERIA | INDICATORS | BARTIN |
|----------------------|-------------------------------------|---|---------------|
| Scope | Location | Urban infrastructure | + |
| | | Affordability of the land demand | + |
| Urban Texture | Building density | Area density | + |
| | Multiple use | Residential area/non-residential area ratio in the area | + |
| | | Access to basic facilities | - |
| | Public spaces | Its size and quality | - |
| | Landscape area | Accessibility to green areas | + |
| | (accessibility and surface quality) | Ecological quality of open green spaces | - |
| Transport | Transport infrastructure | Reducing private car traffic | × |
| | | Length of highways | |
| | | Working population | × |
| | | Bicycle paths | - |
| | Proximity to public transport | Access to public transport within a 300m diameter | - |

| | | | |
|------------------------------|--------------------------|--|---|
| | Noise | The amount of noise exposed during the day and night | - |
| | Parks | Comparison of transportation with private cars and public transportation | - |
| Energy Flow | Energy requirement | Maximum energy requirement | - |
| | Energy efficiency | The amount of solar energy used | - |
| Material Cycle | | Thermal insulation | × |
| | Greenhouse gas emissions | Share of renewable energy sources | + |
| | Construction materials | Minimum use of materials and use of renewable, recyclable and local materials | × |
| | Earth movement | | |
| | Water management | Measures to minimize water use | |
| | | Management of wastewater | + |
| Socio Economic Values | Social infrastructure | Social infrastructure index | |
| | Economic infrastructure | Economic infrastructure index | |
| | Labor | Job and unemployment rates | + |
| | Profitability | Benefit cost analysis | + |
| | Holistic Planning | Multidisciplinary planning team | + |
| | | Examination of different scenarios | × |
| | Public participation | Indices measuring public participation in the processes and the quality of participation | + |

In Table 7, evaluations have been made for the city of Bartın in line with the ecocity criteria and it is stated whether the city meets the ecocity criteria. The areas marked as (+) in the table indicate the result that "positive results have been obtained and studies on this issue are continuing". The areas marked as (-) in the table indicate the result that "there are suggestions although there is no study done". The fields marked as (×) in the table indicate the result that "no study was found and no progress was made in this direction". The maps produced within the scope of the study were overlapped with each other. The Bartın city suitable for being an ecocity are determined and shown in Figure 16.

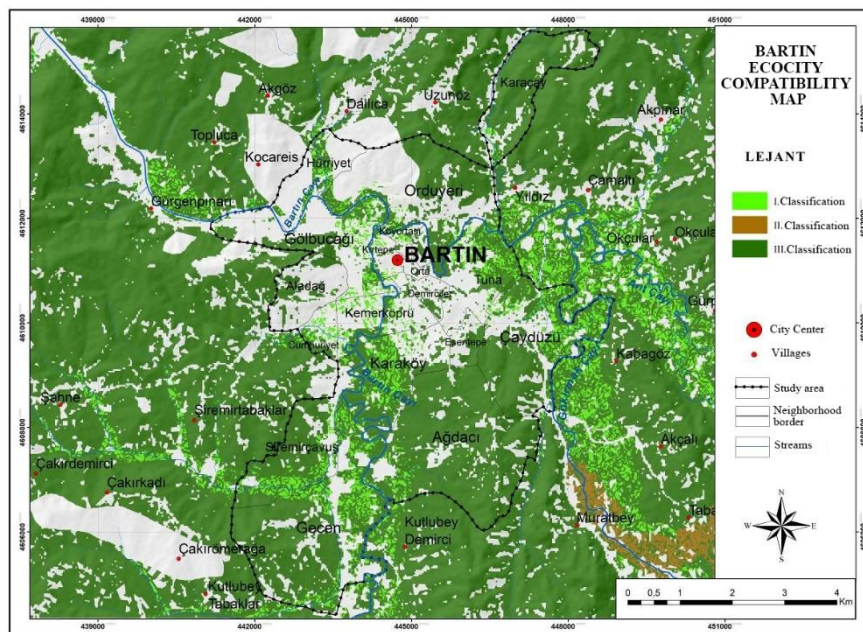


Figure 16. Compliance map of Bartın city for ecocity

Class I is the most suitable for being an ecocity, II. classification 2nd degree suitable area III. classification was determined as the 3rd degree suitable area (Table 8).

Table 8. Titles evaluated for Bartın province ecocity compliance map

| Topics evaluated | I. Classification | II. Classification | III. Classification |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Slope | %0-5 | %5-10 | - |
| Land capability | I. Class | II. Class | - |
| Landslide free areas | + | + | + |
| Green areas | + | + | + |
| 300 m to green areas in transport | + | + | + |
| 300 m to stops in transport | + | + | + |

There are 8 main headings on the evaluation of the ecocity criteria. The study area was evaluated based on these headings and recommendations were made.

4.1. Suggestions for the urban texture

- The settlement established in different neighborhoods in the city accelerates the division and fragmentation of natural areas, therefore, the continuity of the spaces should be ensured as well as the connection of the spaces with each other in the city of Bartın.
- Ensuring the continuity of the spaces as well as the connection of the spaces in the city.
- Increasing the open green spaces in the neighborhoods within the boundaries of the study area, thus preventing urban sprawl and non-sustainable areas.
- The green belt effect will be an application that directs growth and provides many benefits to the city as well as its ecological effect.
- Determining the dense areas in the city center, preventing the accumulation of concentration at a single point and ensuring its homogeneous distribution.
- Ensuring the use of renewable energy uses not only for residences but also in common urban areas. The use of rivers, which surround the city and have a strong water potential, for energy purposes, and the energy that can be produced by the effect of waves in the Black Sea has the potential to be used for urban needs. Because the city's topography and access to potential resources are easy.
- Raising the awareness of the public about the ecocity. The city of Bartın, with its urban, rural and coastal city features mentioned in the study, has rare features. However, the people in the city have taken these features for granted and do not have the awareness that they can be improved.
- The creation of green spaces and recreational areas that create attraction in neighborhoods with low area density will provide the city with access to quality spaces as a whole.
- Building the main areas such as shopping, entertainment, etc. at certain distances across the area, thus ensuring ease of access by foot.

- Reducing the use of nature-damaging gas in vehicle fuels and providing the necessary sanctions in this regard. In this regard, the transition to the use of electric vehicles will reduce the use of fuel that harms the environment.
- Generalizing wastewater treatment processes and purification of Bartın River from pollution. Today, there are industrial facilities established by the river, the control of wastewater discharged from these establishments into the river, the implementation of legal penalties for uncontrolled use, the separation of wastes by taking the necessary precautions for domestic waste, and zero waste projects are important.

4.2. Transportation recommendations

- Planning urban transportation for city users without loss of time and space and making the necessary investment. In this regard, the rail transportation system in the city should be introduced urgently. With this system, people's demands for public transportation will also be met and unnecessary crowds in traffic will be prevented. Because the city of Bartın is a city that can be reached everywhere on foot.
- Public transportation options in the city need to be developed. In the current situation, the fact that minibuses are used and the connection between certain neighborhoods cannot be provided by public transport directs people to private vehicles.
- Holistic and continuous bicycle path planning is required in the city center and surrounding neighborhoods. The linear line of the Bartın River, which surrounds the city, is a line that can be used for a bicycle path, and the utilization of this potential will provide access to people in a healthy atmosphere while cycling.
- Having shared bicycle parking spaces at every 300 meters in the city and establishment of bicycle rental points will facilitate access to bicycles for each individual.
- Considering the ease of access to green areas, it is necessary to ensure social integrity in urban users. Because open green spaces are common places where people gather and come together for many purposes.
- Pedestrian transportation should be arranged as a priority and walking paths should be created. In this regard, urban multi-storey parking solutions and roadside parking of cars should be prevented or reduced. Thus, the connection of the pedestrian roads will be undivided, people will not encounter the negative image caused by the vehicle image while walking and they will feel themselves in nature.
- Pedestrianization projects should be given priority in the city. It is an important comfort and privilege that people living in the city can access the uses on foot and perceive the whole city as pedestrian.

- Transportation should be provided at a distance of 150-200 meters from the bus stops. Ensuring this will create trust in people and strengthen the circulation of urban constructions.

4.3. Energy recommendations

- Buildings reflecting the traditional (wood, stone, masonry, adobe, etc.) urban architecture should be widespread in the city and the continuity of these structures should be ensured in all neighborhoods. It is possible to transfer these local materials used in historical houses to today's architecture and structures. Thus increasing energy efficiency with traditional materials. The benefit and harmony of these materials, which have been used and preferred for centuries, should not be ignored.
- It is necessary to ensure the continuity of adjacent structures due to heat exchange, to save energy with central heating systems and to increase the use of renewable energy sources.
- Building facades should be positioned appropriately in order to provide ventilation and lighting systems in buildings by natural means. It is important to prefer the areas where daily life passes a lot as living spaces, the use of areas where the aspect of the buildings is taken into account, and spatial settlements. Building facades with at least 2-3 facades will provide more benefit from daylight and sunlight and energy savings.
- The usage areas of solar energy should be increased. In this context, solar energy requirement may be imposed on the roofs of the buildings. In addition, solar energy can be used by establishing solar farms.
- The biogas system, which is one of the renewable energy sources, should be supported. In the city of Bartın, which has 265 villages and where rural production and settlement is intense, the potential for obtaining biogas should be evaluated.
- In the city, which receives heavy rainfall in all seasons, rainwater must be collected and used and water harvested. Today, this issue has a special importance due to water scarcity. The potential needs to be evaluated.

4.4. Suggestions for the material cycle

- The continuity of wooden structures reflecting the traces of the past should be ensured. Their transfer to future generations should be ensured by preserving, re-functioning and using them. Repair and reuse will save material and energy.
- In the selection of materials for newly constructed buildings, it is necessary to be in harmony and integrity with the building tradition and material selection in the past of the city.
- Minimizing the ecological footprint in the urban area by planning green areas for at least 40% of the area covered by the buildings.

4.5. Recommendations for land use

- It is necessary to plan the construction according to the soil classes and to apply the construction restriction on fertile soils. In addition, it is necessary to increase the tax collected from the structures according to the soil classes and to make gradual tax applications.
- Developing and protecting green areas in the city periphery and green belt implementation will be beneficial for controlling urban sprawl.

4.6. Suggestions for water management

- Artificial lake areas and natural ponds should be created in public areas such as city parks and hospital gardens by collecting rain water. Thus, the element of water is gained in public spaces. This application will benefit ecologically and visually.
- The Bartın River should be cleaned and used as a natural recreation area for users. In recent years, applications have been made in parts at certain stages. These practices have responded positively to the quality of the city and the recreational needs of the citizens. Supporting the application by expanding it to cover the entire river will be a big step towards becoming an ecocity.
- It is necessary to determine the areas with past floods and to construct flood protection facilities to prevent possible floods in the city. It is necessary to take measures that will cause the least harm to nature to prevent floods. It should be ensured that the causes of flooding are resolved on-site and the measures to be taken should be compatible with nature.
- The utilization of gray water and its use in agriculture and green field irrigation should be expanded. Thus, by reducing the consumption of clean water and ensuring the reuse of water, savings will be achieved and natural resources will be protected.

4.7. Recommendations for socio-economic indicators

- The river transport of the Bartın river should be revitalized. While river transport was possible until 30 years ago, transportation service stopped as a result of the mismanagement of the river and the accumulation of its bottom with mud and sediments. Re-establishing this is important for the revival of the urban memory and for its ecological and economic benefits.
- It will be beneficial to encourage urban, rural and coastal tourism, to increase the workforce and economic returns of tourism, and to use this income for the maintenance, ecological restoration, development and investments of the city.
- The fishing sector should be encouraged and the potential of the sea coasts and Bartın River should be used better. With the development of this sector, clean food, raising healthy individuals and economic contribution will be increased.

- Thanks to the soil properties and the suitability of the groundwater level, more products can be obtained by promoting urban agriculture. Thus, the income groups polluting the environment and the agriculture sector, which has a more compatible business opportunity with industry and nature, can be developed.
- Developing the city and making future investments, increasing new job opportunities, preventing unemployment, preventing migration and being a self-sufficient city will increase the opportunity to become an ecocity.

4.8. Recommendations for holistic planning

- Getting the ideas and support of the society in planning studies by raising awareness and, getting their opinions on the applications to be made will facilitate the acceptance and implementation phases of the ecocity idea.
- By supporting young entrepreneurs and women entrepreneurs, equal distribution of labor and income in the city will be ensured.
- Increasing the sharing of ideas and practices with universities and other public institutions will ensure control in the decision-making and implementation processes and the implementation of the right decisions for the city.
- Carrying out the necessary studies on recycling will contribute economically, prevent the pollution of natural areas and reduce the depletion of natural resources.
- These suggestions will support potential of Bartın to become an ecocity and help us protect our living spaces. Considering many implemented ecocity projects, it is seen that cities are planned with an environmentalist and focusing on common social life areas. The implementation of these and similar studies will benefit the ecological sustainability of cities. As a result, Bartın city is a city that makes life easier with its natural designs as an "Ecocity", where the urban texture is preserved and can be ecological city as an international focal point.

Thanks

The study was supported by Scientific Research Coordinator of Bartın University (2019-FEN-CY-004).

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Ankaralı N. Evaluation of recreational area usage potential of Bartın River Gölbucağı-Bosphorus section in terms of landscape design. Master Thesis, Bartın University Institute of Science, Landscape Architecture Department, Bartın, 2019.
- Anonim. 2010-2016 Air quality analysis report. Ministry of Environment and Urbanization, North Central Anatolia Clean Air Center Directorate, www.kiathm.csb.gov.tr, 2018. Accessed: 04.04.2020.
- Anonim. Bartın 2020-2024 strategic plan. Bartın Municipality, <https://bartin.bel.tr/dosyalar/2019/10/B.Belediye-2020-2024-Stratejik-Plan.pdf>, 2019. Accessed: 03.04.2020.
- Aytekin I. Investigation of Bartın city and its surrounding industrial areas in terms of urban ecology. Master Thesis, Zonguldak Karaelmas University, Institute of Science, Landscape Architecture Department, Zonguldak, 2008.
- Aytis S., Polatkan I. Ecological architecture concept and basic principles. International Ecological Architecture and Planning Symposium, 2009, Antalya.
- Çetin M. Using GIS analysis to assess urban green space in terms of accessibility: case study in Kütahya, International Journal of Sustainable Development & World Ecology 2015; 22(5): 420-424.
- Ceylan A. The importance of urban green spaces in increasing the quality of life and their association with urban transformation. Master Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Landscape Architecture, Istanbul, 2007.
- Delikanlı NE., Yücedağ C., Kapdi A. A preliminary study on noise pollution caused by vehicle traffic in Bartın city. Journal of Engineering and Technology Sciences 2015; 2(2): 21-40.
- Ecocity Builders. International ecocity framework and standards, USA. <http://www.ecocitybuilders.org/whatwe-do/ecocity-standards/>, 2011. Accessed: 16.09.2020.
- Earth Data. <https://search.asf.alaska.edu/>, 2020. Accessed: 01.03.2020.
- Earth Explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2020. Accessed: 02.03.2020.
- Earth Sciences. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/>, 2020. Accessed: 05.03.2020.
- Energy Atlas. <https://www.enerjiatlasi.com/gunes/bartın-il-ozel-idaresi-gunes-enerjisi-tesisi>, 2020. Accessed: 22.03.2020.
- General Directorate of Meteorology. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=>, 2020. Accessed: 08.04.2020.
- Göksu C. Ecocity (Ecological City, Ecocity, Ecotown, Ecopolis). Southern Architecture, Adana, 2011.
- Görmüş S., Atmış E., Özkazanç NK., Günşen HB., Artar M. Ecorouta Bartın: mapping of natural and cultural corridors. Bartın University Publications No: 26, Faculty of Forestry Publications No: 11, Stil Matbaacılık, Istanbul; 2016.

- Haber Türk. <https://www.haberturk.com/bartın-haberleri/75273643-bartın-universitesi-yenilenebilir-enerji-ve-enerji-verimlilikinde-ilk-5te>, 2020. Accessed: 01.04.2020.
- He, C., Gao, B., Huang, Q., Ma, Q., Dou, Y. Environmental degradation in the urban areas of China: Evidence from multi-source remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 2017; 193, 65-75.
- Hepcan ÇC. Green infrastructure solutions to combat climate change in cities, http://www.iklimin.org/egitimmateryalleri/Kent_Ye%C5%9FilAltyap%C4%B1_CCH.pdf, 2019. Accessed: 10.05.2020.
- Işıldar GY. 2011 European green capital Hamburg: an analysis of eco-city criteria and performance indicators. *Journal of Social Economic Research* 2012; 12(23): 241-262.
- Karayılmazlar AS. Investigation of public spaces in terms of urban ergonomics, Bartın case. Master Thesis, Bartın University Institute of Science, Landscape Architecture Department, Bartın, 2017.
- Meydan Yıldız SG. Environmental awareness and ecocity planning: An example of Golbasi Special Environmental Protection Area. Doctorate Thesis, Ankara University Institute of Social Sciences, 333 p. Ankara, 2016.
- Nami M. Evaluation of ecological design principles in planning studies within the scope of urban transformation: the case of Adana. Master Thesis, Çukurova University Institute of Science, Landscape Architecture Department, 117 p. Adana, 2014.
- Önder S., Polat AT. The place and importance of urban open-green spaces in urban life. Formation and Maintenance Principles of Urban Landscape Areas Seminar, 2012, 19: 73-96.
- Samur DC. The importance of open spaces in sustainable ecological urban settlements and eco park suggested areas in Istanbul: Pendik, Sultangazi and Fatih. Master Thesis, Bahcesehir University Institute of Science, Urban Systems and Transportation Management, 223 p. Istanbul, 2010.
- Talay I., Kaya F., Belkayalı, N. The effect of socio-economic structure on recreational trends and demands: the case of Bartın city. *Journal of Geographical Sciences* 2010; 8(2): 147-156.
- Therborn G. Globalizations: dimensions, historical waves, regional effects, normative governance. *International Sociology* 2000; 15(2):151-179
- Tosun EK. Ecological Urban Discourse in the Context of Sustainability. *AIBU Journal of Social Sciences Institute* 2017; 17(4): 169-189.
- Tulu M. The rationality of establishment place selection of companies operating in Bartın Organized Industrial Zone. Master Thesis, Bartın University Institute of Social Sciences, Bartın, 2017.
- Tuncer M. Water conservation and natural resource management model on basin: Zonguldak, Bartın, Karabük provinces. Panel: Looking at Water “Right”, Abant İzzet Baysal University, 2010.
- Türkiye Population. https://www.nufusu.com/ilce/merkez_bartın-nufusu, 2020. Accessed: 18.03.2020.
- Yılmaz H. Mapping of the biotops of Bartın and its surrounding area, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, PhD Thesis, 220 p. Zonguldak, 2001.

The Effect of Vitamin C in-ovo Injection on Incubation Results of Fertile Goose Eggs

Günnur PEŞMEN^{1*}

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi Şuhut MYO, Afyonkarahisar

¹<https://orcid.org/0000-0002-9164-6629>

*Corresponding author: gpesmen@akul.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 10.06.2022

Accepted: 17.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Goose

In ovo feeding

Hatchability

Chick quality

Chick length

ABSTRACT

The research aims to determine the effect of vitamin C (Ascorbic acid) injected at different doses on the hatchability of eggs obtained from domestic geese raised in the Afyonkarahisar region. Injection doses of vitamin C, 8, and 10 mg were applied to the air cell of the eggs on the 24th day of incubation. As a result of the experiment, vitamin C given to fertile goose eggs positively affected hatch weight, chick length, and chick quality. There was no significant difference between the groups regarding hatchability and survival rate.

Döllü Kaz Yumurtalarında Vitamin C In-Ovo Enjeksiyonunun Kuluçka Sonuçlarına Etkisi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.06.2022

Kabul tarihi: 17.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler :

Kaz

İn ovo feeding

Çıkış gücü

Civciv kalitesi

Civciv uzunluğu

ÖZ

Araştırmanın amacı, Afyonkarahisar yöresinde yetiştirilen yerli kazlardan elde edilen yumurtalara farklı dozlarda enjekte edilen C vitamininin (Askorbik asit) kuluçka kabiliyetine etkisini belirlemektir. Enjekte edilen C vitamini dozları, inkübasyonun 24. gününde 8 ve 10 mg olmak üzere yumurtaların hava hücreğine uygulanmıştır. Deneme sonucunda döllü kaz yumurtalarına yumurta içi verilen vitamin C'nin çıkım ağırlığı, civciv uzunluğu ve civciv kalitesi üzerine olumlu etki yapmıştır. Çıkış gücü ve yaşama gücü bakımından gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

To Cite: Peşmen G. The Effect of Vitamin C in-ovo Injection on Incubation Results of Fertile Goose Eggs. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 408-415.

1. Introduction

One of the most important problems in goose breeding is incubation. The low egg yield and the fact that they do not lay eggs during natural incubation increase the importance of artificial incubation in goose breeding. The hatching efficiency, which is reported as 75% in natural hatching in geese, drops considerably when the necessary conditions are not met in artificial hatching (Tilki and İnal, 2004; Pesmen and Yonetken, 2020).

The technique, also known as in-egg feeding, is applied by injecting nutrients such as protein, vitamins, minerals, and various substances such as hormones and antibodies into the embryonic sacs in the form of a liquid solution at any stage of incubation. The in ovo technique was first used at the end of the 1970s, and in 1995; automatic injection systems (in ovoject) started to become an alternative application that has come to the fore in recent years (Abdulqader et al., 2017). Introducing various nutrients (protein, minerals, vitamins etc.) into the egg increases the hatchability and ensures high survival and performance after hatching (İpek et al., 2003; Nowaczewski et al., 2012; Sözcü and Curabay, 2014; Zhu et al., 2019).

Vitamin C has anti-stress properties. It helps collagen synthesis, positively affects connective tissue, bone, and cartilage tissue strengthens the immune system and increases disease resistance (Santos et al., 2018). Vitamin C is absent in a newly laid egg and begins to be synthesized by the developing embryo on the 3rd-4th day of incubation due to endogenous biosynthesis. However, the quantities produced may not be sufficient towards the end of the incubation period, when the embryo is exposed to extreme overheating. This is mainly observed in ducks and geese but is also observed during broiler incubation. Waterfowl have exceptionally high vitamin C requirements and are more susceptible to vitamin C deficiency. Therefore, in ovo application of vitamin C to the egg during embryogenesis can reduce the negative effects of overheating (thermal stress) and, as a result, increase hatchability. Therefore, vitamin C injection may provide more effective results in the middle and late stages of incubation, when the embryo is expected to overheat (Nowaczewski et al., 2012).

In hot environmental conditions, the level of vitamin C in the blood and tissues decreases significantly, and exogenous vitamin C increases the level of vitamin C in the blood, reducing the rise in the birds' body temperatures under heat stress conditions. It is known that positive responses to vitamin C supplementation are further enhanced under adverse conditions such as high temperature and low protein levels (Pardue and Thaxton, 1986). Khan et al. (2012) reported that heat stress caused a decrease in feed consumption, food use, growth rate, egg production and quality, feed efficiency, immunity level, performance, and productivity. Decreased antioxidant levels can characterize heat stress due to increased oxidative stress.

Zhu et al. (2019), in the prenatal period, vitamin supply (in egg feeding of exogenous vitamins (IOF)) improves broiler chickens' hatchability and growth performance, antioxidation, and immune function. Brake and Pardue (1998) reported that the anti-stress feature of vitamin C is one of its most essential features. Giving additional ascorbic acid to animals in different ways, especially at high temperatures, reduces the negative effects that may occur in the yield characteristics.

To summarize the results obtained in various studies by administering Vitamin C to fertile poultry eggs in ovo at multiple stages of incubation;

- High hatchability in broiler eggs with in ovo application of 3 mg Vit C to the air sac on the 18th day of hatching (İpek et al., 2003),

- In ovo application of 8 mg Vit C to the air sac on the 20th day of hatching in Pekin duck eggs, an increase in hatchability and a significant decrease in embryo mortality (Nowaczewski et al., 2012),
- In broiler eggs, with the application of 3 mg Vit C to the air sac in ovo on the 13th day of hatching, an increase in hatchability, a significant decrease in embryo deaths,
- In ovo application of 3 mg Vit C to egg yolk on the 15th day of hatching to broiler eggs increased hatchability and chick weight and improved immune function (Zhu et al., 2019),
- In broiler eggs, on the 14th day of hatching, an increase in hatchability and an increase in growth performance after hatching were observed with in ovo application of 6 µg Vit C to the air sac (Ismail et al., 2019).

This study was carried out to determine the effects of vitamin C in ovo injection during the incubation of fertile domestic goose eggs on hatchability, chick quality, chick weight, chick length, and 1-week survival rate.

2. Material and Method

A total of 82 fertile goose eggs were used in the study. Goose eggs were weighed and numbered with an accuracy of 0.01 g before being placed in the incubator. It was then incubated according to the method in Table 1. On the 10th day of incubation, a fertility examination was performed on the eggs with lamp control, and the infertile eggs were removed from the incubator. Eggs identified as fertile were placed back in the incubator to continue the normal incubation process. Until the 27th day of the incubation period, automatic rotation was performed at an angle of 45 degrees every hour.

Table 1. Incubation conditions of fertile goose eggs (Petersime, 1993).

| Days | Heating (°C) | Humidity (%) | Cooling and water spraying |
|-------|--------------|--------------|--------------------------------------|
| 1-7 | 37.7 | 58 | |
| 8-10 | 37.7 | 58 | 5 minutes cooling+ water spraying |
| 10 | 37.7 | 58 | 1 st control |
| 11-14 | 37.7 | 58 | 5 minutes cooling+ water spraying |
| 15-21 | 37.7 | 58 | 15 minutes cooling+ water spraying |
| 22-27 | 37.7 | 58 | 25 minutes cooling+ water spraying |
| 27 | 37.7 | 58 | 2 nd control and transfer |
| 28-30 | 37.2 | 76 | |

During to incubation fertile eggs were subjected to treatments on the 24th days of incubation given in Table 2.

Table 2. Application procedures according to trial groups.

| Gruplar | Uygulama |
|------------------|--|
| Control | K No application has been made. |
| Negative control | NK 0.1 ml of isotonic water was injected. |
| 8 mg AA | AA1 Each egg was injected with a 0.1 ml solution containing 8 mg of Vit C. |
| 10 mg AA | AA2 Each egg was injected with 0.1 mg of the solution containing 10 mg of Vit C. |

K: Control, **NK:** Negative control, **AA1:** 8 mg Vit C, **AA2:** 10 mg Vit C

After the area above the air cell was wiped with 70% ethanol before in-ovo injection, a small 1 mm hole was drilled with a micromotor from the egg shell along the central axis at the top of the egg. 0.1 ml of a solution containing doses of Vitamin C (8 mg and 10 mg) was injected through the hole drilled in the eggshell, through the inner membrane of the eggshell, with a needle of 3-4 mm in length.

Figure 1. Drilling holes in fertile goose eggs with a micro motor and Vit C injection.



The hole was then sealed with a small drop of sterilized molten paraffin, and the eggs were placed back in the incubator. The eggs were transferred to the hatching section on the 27th day. At the end of the incubation period (30th day), hatchability, chick weight, chick length, chick quality, and 1-week survival rate were determined.

Hatchability; is evaluated as the ratio of chicks obtained from eggs determined to be fertile due to fertility control. The hatchability was determined by dividing the number of chicks hatched in each group by the number of fertile eggs (Aksoy, 1999).

Hatchability= number of hatched chicks/number of fertile eggs x 100

Chick weight; was determined with a digital scale with a sensitivity of 0.01 g.

Chick length; the length from the tip of the beak to the tip of the finger was measured in cm with the help of a ruler (Wolanski et al., 2005).

Chick quality; was evaluated and scored according to Tona et al.'s (2003) chick quality scale. General activity, feather condition, and appearance, remaining egg yolk, eyes, legs, navel region, and remaining, membrane parameters were evaluated in scoring.

Survival rate: Survival rate values were calculated according to the formula below by determining the ones that died at the age of 1 week among the goose chicks in each group (Şenköylü, 1991).

Survival rate (%) = (Initial number of animals of the group-number of animals that died)/initial number of animals of the group x100

Statistical analysis was made with the SPSS statistical package program (SPSS, 2018). ANOVA test was used to determine the differences between groups regarding chick weight, length, and quality. The chi-square test determined the differences between groups regarding hatchability and survival rate.

3. Results and Discussion

The Effects of Vitamin C injection in fertile goose eggs on the 24th day of incubation on chick weight, length, quality, hatchability, and survival rate are given in Table 3.

Table 3. Effects of Vitamin C injection in fertile goose eggs on the 24th day of incubation on chick weight, length, quality, hatchability, and survival rate.

| Grup | Properties | | | | | |
|------|------------------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|--------|
| | Chick Weight (g) | Chick Length (cm) | Chick Quality | Hatchability (%) | Survival Rate (%) | |
| K | Mean | 100.97 | 23.32 | 80.00 | 70.00 | 64.29 |
| | Min-max | 76.41-123.77 | 21.00-25.00 | 66.00-92.00 | | |
| | SE | 3.93 | 0.26 | 2.32 | 0.10 | 0.13 |
| | n | 14 | 14 | 14 | 20 | 14 |
| NK | Mean | 93.90 | 23.70 | 86.00 | 50.00 | 70.00 |
| | Min-max | 71.11-108.25 | 22.50-24.50 | 80.00-90.00 | | |
| | SE | 3.77 | 0.18 | 1.63 | 0.11 | 0.15 |
| | n | 10 | 10 | 10 | 20 | 10 |
| AA1 | Mean | 110.75 | 24.78 | 96.00 | 76.19 | 100.00 |
| | Min-max | 94.92-121.65 | 23.00-26.00 | 86.00-100.00 | | |
| | SE | 2.00 | 0.17 | 1.01 | 0.95 | 0.00 |
| | n | 16 | 16 | 16 | 21 | 16 |
| AA2 | Mean | 112.92 | 24.36 | 86.00 | 52.38 | 72.73 |
| | Min-max | 87.10-140.98 | 23.00-25.50 | 80.00-92.00 | | |
| | SE | 4.51 | 0.26 | 1.68 | 0.11 | 0.14 |
| | n | 11 | 11 | 11 | 21 | 11 |

($p \leq 0.05$).

Chick Weight: Chick weight in K, NK, AA1, and AA2 groups, respectively, was 100.97 g, 93.90 g, 110.75 g, and 112.92 g. A significant difference was found in chick weight between NK, AA1, and AA2 groups ($p \leq 0.05$). The highest chick weight was determined in the AA2 group and the lowest in the NK group.

Chick Length: Chick lengths in K, NK, AA1, and AA2 groups, respectively, were found as 23.32 cm, 23.70 cm, 24.78 cm, and 24.36 cm. A significant difference was found between the K and AA1 groups in terms of chick length ($p \leq 0.05$). The highest chick length was found in the AA1 group and the lowest in the K group.

Chick quality: Chick quality in K, NK, AA1, and AA2 groups, respectively; 80.00, 86.00, 96.00, and 86.00. A significant difference was found between the AA1 and the F, NK, and AA2 groups ($p \leq 0.05$). The highest chick quality was determined in the AA1 group and the lowest in the control group.

Hatchability: Hatchability power in K, NK, AA1, and AA2 groups was 70%, 50%, 80%, and 52%. There was no significant difference between the groups in terms of hatchability ($p \geq 0.05$). The lowest

hatchability was found in the saline-injected group (NK), and the highest in the 8 mg Vit C injected group (AA1).

Survival rate: The survival rate in C, NK, AA1, and AA2 groups was 64.29%, 70.00%, 100%, and 72.73%. There was no significant difference between the groups in terms of survivability ($p \geq 0.05$). The lowest survival rate was found in the control group and the highest in the AA1 group.

Various studies have observed that Vitamin C (8 mg) administered in ovo causes an increase in chick weight (İpek et al., 2003; Nowaczewski et al., 2012; İsmail et al., 2019; Zhu et al., 2019). It is consistent with other results obtained in the study.

The majority of Vit C administrations by in ovo injection were performed on fertile broiler eggs. In the literature researches, studies on ovo injection in geese were not found. In studies conducted on other poultry species, in ovo administration of Vit C increased hatchability and decreased the rate of dead embryos (İpek et al., 2003; Nowaczewski et al., 2012; İsmail et al., 2019; Zhu et al., 2019). Although the hatchability and survivability increased in the group injected with Vit C (8 mg), no significant difference was detected in the study performed. This situation may have resulted from the species characteristic and different hatching conditions of the poultry species. In addition, the place and time of in-ovo injection are important. More precise results will be obtained if vitamin C or other nutrients are applied at different hatching times.

Various researchers have found a high correlation between chick weight, chick quality, and chick length (Petek et al., 2008; Willemsen et al., 2008; Lin et al., 2018; Pesmen, 2021). In the study, both chick length and chick quality increased in the Vitamin C (8 mg) injected group. An objective and reproducible method is required to day-old chicks' quality and estimates their performance potential. Several methods have been developed in this regard, but not all methods have the same repeatability or predictive value. Chick length is one of the methods reported to be useful as it reflects embryo development during hatching. Studies have shown that there is a positive correlation between chick length and performance at older ages (Meijerhof, 2009).

As a result, 8 mg of Vitamin C injected in the study increased hatchability, chick weight, chick length, chick quality, and survivability in fertile goose eggs.

4. Conclusions

In various studies, high hatchability in broiler fertile eggs, decrease in embryo mortality, increase in chick weight, and increase in post-hatch growth performance have been achieved. Given that healthy and well-nourished broiler breeders produce eggs with complete nutritional characteristics for all embryo development, in-egg feeding is a technique that may show the best results for young broiler breeders who may have difficulties in passing adequate nutrients to the egg. Under these conditions, in ovo feeding can provide the chicks with corrective nutritional composition for eggs and make up for digestive deficiencies. In addition, more clear results will be obtained with intensive research on in-ovo injection in goose eggs.

Conflict of Interest Statement

The article's 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

- Abdulqader AFA., Olgun O., Yıldız AÖ. In ovo besleme. Hayvansal Üretim 2017; 58(2): 58-65.
- Aksoy FT. Tavuk Yetiştiriciliği. 3. Baskı, Şahin Matbaası 1999.
- Brake J., Pardue SL. Role of ascorbic acid in poultry nutrition. Proc. 10th European Poultry Conference 1998; 63-67.
- İpek A., Şahan U., Yılmaz B. The effect of in ovo ascorbic acid and glucose injection in broiler breeder eggs on hatchability and chick weight. Arch. Geflügelk 2003; 68(3): 132-135.
- Khan RU., Naz S., Nikousefat Z., Selvaggi M., Laudadio V., Tufarelli V. Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry. Poultry Science Journal 2012; 68: 477-490.
- Lin MJ., Chang SC., Lee MT., Tien YT., Lio JW., Lee TT. Effects of White Roman Gosling quality on their growth parameters, intestinal villus morphology, blood biochemistry and nonspecific pathological lesions. R. Bras. Zooteca 2018; 47: e20170017.
- Meijerhof R. The influence of incubation on chick quality and broiler performance. 20th Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney, New South Wales 2009, p. 167-170.
- Nowaczewski S., Kontecka H., Krystianiak S. Effect of in ovo injection of vitamin C during incubation on hatchability of chickens and ducks. Foliabiologica (Kraków) 2012; 60(1-2): 93-7.
- Pardue SL., Thaxton JP. Ascorbic acid in poultry. World Poultry Science Journal 1986; 42: 107-123.
- Peşmen G., Yönetken A. Incubation properties of native geese in Turkey. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi - C Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji 2020; 9: 64-68.
- Pesmen G. The relationships between chick length and chick weight, chick quality in daily aged domestic goose chick. 5th International Conference on Engineering Technology and Applied Science (ICETAS) August 2-6 2021, Bosnia and Herzegovina.
- Petersime NV. Operation Instructions Setter Petersime 336 and Operation Instructions Hatcher 83. 1993.
- Petek M., Orman A., Dikmen S., Alpay F. Relations between day-old chick length and body weight in broiler, quail and layer. Uludag Univ. J. Fac. Vet. Med. 2008; 27(1-2): 25-28.
- Santos ET., Sgavioli S., Castiblanco DMC., Domingues, CHF., Quadros TCO., Borges LL., Petrolli TG., Baraldi-Artoni, SM. Glycosaminoglycans and vitamin C *in ovo* feeding affects bone characteristics of chicks. R. Bras. Zootec., 2018; 47: e20170304.

- Sözcü A., Curabay B. Kuluçkada yumurta içi (in ovo) besleme uygulamaları. *Hayvansal Üretim* 2014; 55(1): 46-50.
- Şenköylü N. Modern tavuk üretimi kitabı. Onaran Matbaası. Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü 1991;204s. Tekirdağ.
- Tona K., Bamelis F., De Ketelaere B., Bruggeman V., Decuypere E. Effect of induced molting on albumen quality, hatchability, and chick body weight from broiler breeders. *Poult. Sci.* 2002; 81: 327–332.
- Tona K., Bamelis F., De Ketelaere B., Bruggeman V., Moraes VMB., Buyse J., Onagbesan O., Decuypere E. Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry Sci.* 2003; 82: 36-741.
- Willemsen H., Everaert N., Witters A., De Smit L., Debonne M., Verschuere F., Garain P., Berckmans D., Decuypere E., Bruggeman V. Critical assessment of chick quality measurements as an indicator of posthatch performance. *Poultry Science.* 2008; 87(11): 2358-2366.
- Wolanski NJ., Luiten E., Meijerhof R., Vereijken ALJ. Yolk utilisation and chick length as parameters for embryo. *Avian and Poultry Biology Reviews.* 2005; 15: 233-239.
- Zhu YF., Li SZ., Sun QZ., Yang XJ. Effect of in ovo feeding of vitamin C on antioxidation and immune function of broiler chickens. *Animal, The Animal Consortium.* 2019; 1-7. doi:10.1017/S1751731118003531.

R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Soğutma Kapasitesinin Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması

Musa DEMİR^{1*}, Nesrin ADIGÜZEL²

¹Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 28200, Giresun

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü, 25240, Erzurum

¹<https://orcid.org/0000-0002-2191-5395>

²<https://orcid.org/0000-0001-7610-2757>

*Sorumlu yazar: musa.demir@giresun.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.01.2022

Kabul tarihi: 16.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Soğutucu Gazlar
Soğutma Çevrimi
Enerji
Ekonomi

Tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için R12, R22, R134A ve R404A soğutucu gazları kullanılmıştır. 4 soğutucu gaz için evaporatör sıcaklığı 263K, kondenser sıcaklığı 303K, kütleli debi 0,654(kg/s) kompresör izentropik verimliliği (0,7), kompresör ısı kaybı faktörü (%0,7), kompresör giriş sıcaklığı 278K olarak belirlenmiştir. Evaporatör soğutma kapasitesinin (%0,7) azaltılmasıyla belirlenen yeni değer ile bir karşılaştırma yapılmıştır. Kompresör kapasitesindeki değişim, soğutma etkinlik katsayısındaki (COP_{SM}) değişimler tabloda verilmiştir. Bir yıl 8760 saat olarak alınmıştır. 1kWh'in maliyeti 0,5 \$ dolar olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada CoolPack programı kullanılmıştır. R12, R22, R134a ve R404A gazları için sırasıyla yıllık tasarruf para birimi olarak 1051\$, 1445\$, 1358\$, 1183\$ bulunmuştur. Ek olarak R12, R22, R134a, R404A gazları için yaklaşık olarak 2102, 2891, 2716, 2365 kWh tasarruf sağlanmıştır.

Comparison of Annual Energy and Economy Savings by Decreasing The Evaporator Cooling Capacity of R12, R22, R134A, R404A Refrigerants

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 06.01.2022

Accepted: 16.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Refrigerants
Cooling Cycle
Energy
Economy

R12, R22, R134A and R404A refrigerants are used for the single stage conventional vapor compression refrigeration cycle. Evaporator temperature was determined as 263K, condenser temperature 303K, mass flow rate 0.654(kg/s) compressor isentropic efficiency (0.7), compressor heat loss factor (0.7%), compressor inlet temperature 278K in 4 refrigerants. A comparison was made with the new value determined by reducing the evaporator cooling capacity (0.7%). The change in the compressor capacity and the changes in the cooling efficiency coefficient (COP_{SM}) are given in the table. One year is taken as 8760 hours. The cost of 1kWh is set at \$0.5 dollars. CoolPack program was used in the study. Annual savings for R12, R22, R134a and R404A gases were found to be 1051\$, 1445\$, 1358\$ and 1183\$, respectively. In addition, approximately 2102, 2891, 2716, 2365 kWh savings were achieved for R12, R22, R134a, R404A gases.

To Cite: Demir M., Adıgüzel N. R12, R22, R134A, R404A Soğutucu Gazlarının Evaporatör Soğutma Kapasitesinin Belirli Bir Oranda Azaltılmasıyla Yıllık Enerji ve Ekonomi Tasarrufu Kıyaslaması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 416-426.

1. Giriş

Afshari ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, iki sistem arasındaki termodinamik farklılıkları incelemek için iki farklı veri kaynağı toplanmıştır. İlk olarak, bir ısı pompası ünitesi, farklı soğutucu akışkanlarla farklı çalışma koşullarında incelenmiştir. Daha sonra termodinamik koşulları ve iyileştirmeleri karşılaştırmak için ünite bir soğutma cihazına dönüştürülmüştür. Çalışmada ısı pompası ve buzdolabı performanslarını karşılaştırmak için parametre olarak; termodinamik yasalar, COP değeri, kompresörün güç tüketimi, optimum şarj miktarı ve R134a, R407c, R22 ve R404a gibi çeşitli soğutucu akışkanlar düşünülmüştür. Dondurucu modunda kompresörde entropi azalması görülmüştür. COPL'nin neden çok düşük değerlere düştüğü bu araştırmada tartışılan diğer önemli konulardan biridir (Afshari ve ark., 2018).

Düşük GWP'li alternatif soğutucu akışkanlar kullanan soğuk depolama üniteleri, başka bir çalışmada 32, 25, 15 ve 5 °C ortam sıcaklığı şartlarında deneysel olarak incelenmiştir. Her çalışma koşulunda, R404A, R407A ve R407F kullanılan soğuk hava deposunun performansı; soğutma kapasitesi, enerji verimliliği oranı, yoğuşma sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı gibi parametreler açısından karşılaştırılmıştır. R407A ve R407F kullanıldığında yıllık enerji etki oranının R404A'dan daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. R407A'nın yıllık güç tüketimi, toplam eşdeğer ısınma etkisi ve iklim performansı, R404A'ninkilerden sırasıyla %2,5, , %7,9 ve %7,9 daha düşük çıkmıştır. R407F'nin soğuk depolama sistemleri için daha düşük GWP'li alternatif soğutucu olduğu görülmüştür (Gao ve ark., 2022).

Bir diğer çalışmada ana bileşenlerin termodinamik değişkenlerini değerlendirmek için kapsamlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlar, yani R12, R22, R134a, R152a, R410A; yeni nesil düşük GWP'li soğutucu akışkanlar R32, R1234yf, R1234ze(E); ve iki doğal soğutucu R600a ve R744 (CO₂) çalışmada analiz edilmiştir. Tüm soğutucu akışkanlar için birinci yasa analizi ve ekserjetik verim incelenmiştir. Sonuçlar, R600a'nın en iyi olduğunu, ardından COP, toplam ekserji yıkımı ve ekserjetik verimlilik açısından R152a, R1234ze(E) ve R1234yf'nin geldiğini göstermiştir. En düşük ve en yüksek TEWI (toplam eşdeğer ısınma etkisi) miktarı sırasıyla R600a ve R12 sistemleri için bulunmuştur (Islam ve ark., 2021).

Başka bir çalışmada, düşük küresel ısınma potansiyeline sahip verimli soğutma ekipmanlarına ve soğutucu akışkanlara eş zamanlı geçiş için küresel bir yönetim mimarisi önerilmiştir. Bunun için Montreal Protokolü'nün soğutucu akışkan yardım programı ile birlikte ulusal enerji verimliliği programlarından elde edilen onlarca yıllık deneyimden yararlanılması amaçlanmıştır. Önerilen enerji verimliliği yönetim mimarisinin ana unsurları, uluslararası olarak uyumlu bir enerji verimliliği standartları programı, enerji verimliliği performansını test etmek için altyapı, ölçüm ve doğrulama stratejisini içermektedir. Soğutucu akışkan geçişiyle birlikte enerji verimliliği standartları ve uyumluluk altyapıları oluşturan ulusal, bölgesel ve uluslararası toplulukların yatırımlarını optimize etmek için hedeflenmiştir. Sonuç olarak, bu çabalar, yerel uygulamaların ve uluslararası

yükümlülüklerin uyumlaştırılması yoluyla Kigali Değişikliği kapsamında iklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olmak için düşünülmüştür (Park ve ark., 2021).

Temel olarak enerji veya ekserji analizine odaklanan teorik ve deneysel araştırmalar alan yazında bulunmaktadır, fakat ulaşılan birkaç çalışma eksergoekonomik yaklaşımlara odaklanmıştır. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, bir ev tipi buzdolabının toplam maliyetlerini dahil etmek için deneysel bir kurulumla eksergoekonomik maliyet analizi uygulanmıştır. Birim ekserji maliyeti (cp) ve eksergoekonomik faktör (f) gibi eksergoekonomik parametreler, performansın karşılaştırılması için kullanılmıştır. Birim ekserji maliyetine dayalı olarak sonuçlar, R134a'nın farklı çalışma koşullarında R1234yf'den daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Eksergoekonomik faktörün, R134a için R1234yf'den daha yüksek değerler sunması sistemde daha az ekserji yıkımı anlamına gelmiştir (Rangel-Hernández ve ark., 2019).

Başka bir çalışmada, mevcut buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine, özellikle orta ölçekli klimalara genişleticilerin kurulumunun ekonomik bir analizi sunulmuştur. Mevcutta olan ve yeni önerilen çeşitler dahil olmak üzere farklı soğutucu akışkanlar değerlendirilmiştir. İncelemeler sonucunda, genişletirici verimi %50 olduğunda, çoğu konvansiyonel sistemin geri ödeme sürelerinin yüksek elektrik tarifesi olan yüksek sıcaklıklı ülkelerde 3 yılın altında, diğer ülkelerde ise 5 yılın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Genişleticiler özellikle transkritik CO₂ ve R404A sistemleri için çekici sonuçlar vermiştir. Yüksek verimli genişletiriciler, yüksek soğutma yükleri, yüksek ortam sıcaklıkları ve düşük soğutma sıcaklığı uygulamaları için geri ödeme süreleri daha kısa bulunmuştur (Subiantoro ve ark., 2013).

Soğutucu akışkan değişiminin yaşam döngüsü maliyetlerini ve faydalarını incelemek için yapılan bir çalışmada genel bir süreç zinciri analizi çerçevesi kullanılmıştır. Çalışmadaki veriler, yakın zamanda R22 sisteminden R134A-R744 sistemine geçen Çin'deki bir süpermarketten toplanmıştır. %15'lik bir iskonto oranı altında, sera gazı azaltım maliyetinin referans değerleri, elektrik kullanımından kaynaklanan maliyetler ve emisyonlar dahil olmak üzere sırasıyla 207,28 ve 1,40 \$/t-CO₂ olarak bulunmuştur. Doğal soğutucu akışkan bazlı sistemin ticari olarak çekici hale gelmesi için maliyet düşürmeye öncelik verilmesi gerektiği bulunmuştur (Wang ve ark., 2019).

Bir diğer çalışmada R1270 ve karbon dioksit soğutucuları ile kademeli bir soğutucu akışkan sistemi önerilmiştir. Doğal soğutucu akışkan R1270, NH₃ ve R290'ın yerini almak üzere sistemde kullanılmıştır. İki adet yarı hermetik pistonlu kompresörlü bir kademeli soğutma çevrimi oluşturularak deneysel inceleme yapılmıştır. Sonuçlar, kademeli soğutucu akışkan sisteminin yüksek sıcaklık devresinde R1270'in iyi bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. Kademeli sistemin sabit bir yoğuşma ve buharlaşma sıcaklığı altında, R1270 buharlaşma sıcaklığı azaldıkça (-7 °C'den -19 °C'ye), performans katsayısı (COP) artmıştır. R1270 buharlaşma sıcaklığı -19 °C'den -7 °C'ye yükseldiğinde kompresörün izentropik verimi %78,5'ten %74,7'ye düşmüştür (Zhang ve ark., 2020).

Başka bir çalışmada çalıştırma maliyeti ve Yaşam Döngüsü İklim Performansı kullanılarak R134a, R152a ve R1234yf soğutucu akışkanlarını kullanan ev tipi buzdolabının termal, ekonomik ve çevresel

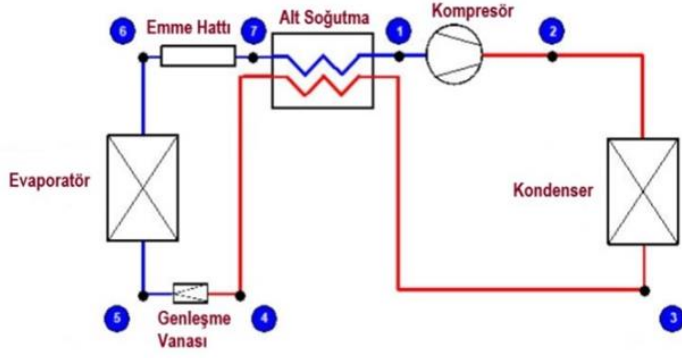
analizi sunulmuştur. Sonuçlar, değişken deplasman teknolojisinin uygulanmasıyla kompresör strokunun ısı yüküne göre ayarlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca güç tüketiminin ve doğal olarak işletme maliyetinin ve CO2 emisyonlarının azaltılabileceğini göstermiştir. R134a kullanan kompresör stroku 13 mm'den 10 mm'ye düştüğünde, güç tüketimi, toplam maliyet ve yaşam döngüsü CO2 emisyonları azalmıştır. R134a'nın R152a ile değiştirilmesi COP'yi %10 azaltmıştır. Ama aynı zamanda maliyeti ve CO2 emisyonlarını sırasıyla %5 ve %8,6 oranında azaltmıştır. Bu, R134a sistem COP'sini 0,9 artırmakla eşdeğer olarak kabul edilmiştir (Zhu ve ark., 2021).

Bu çalışmada R12, R22, R134a, R404A soğutucu gazlardan 4 tanesi tercih edilmiştir. R22 özellikle iklimlendirme ve soğuk depoculukta kullanılmaktadır (Ergün ve ark., 2018). R134a ve R404A'nın ozon tabakasına, çevreye yıkıcı etkisi bulunmamaktadır (Selbaş., 2015). R12 ve R134a'nın otomobil iklimlendirme sistemi üzerinde çalışmaları bulunduğu için tercih edilmiştir (Esen ve Hoşöz., 2006).

2. Materyal ve Metot

Soğutucu Akışkan Seçimi ve Çevrim Parametreleri belirlenirken soğutma akışkanı olarak R12, R22, R134a, R404A seçilmiştir. Bu soğutucu gazlar piyasada kullanılan soğutucu akışkanların büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Otomobil, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde daha çok tercih edilen soğutucu gazlar seçilmiştir. Soğutucu evaporatörlerinde yeterli soğutucu akışkan miktarını sağlayacak değerde olmalıdır. Çevrimin termodinamik analizi, tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için yapılmıştır. Çalışmada, kondenser çıkış sıcaklığı 298 K olarak alınmıştır. Tablo 1'de çevrim için girilen ortak değerler verilmiştir.

Bu çalışmada tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırımlı genel çevrimi Şekil 1'de gösterildiği gibi teorik olarak modellenmiştir. Bir soğutma sistemi tasarım/analiz programı olan CoolPack ile farklı soğutucu gazlar ile hesaplamalar yapılabilir. Bu program farklı soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini kütüphanesinde bulundurmaktadır. Bu bilgilerin kullanımının kolay erişilebilir olması sebebiyle termodinamik çözümlerde hızlı sonuç vermektedir. Ayrıca program ile boru çapı hesaplamaları, yıllık tasarruf hesaplamaları, basınç entalpi (P-h) diyagramları, soğuk oda tasarımları, kompresör, evaporator tasarımları kuru termometre sıcaklığının girilmesi ile Mollier diyagramlarının alınmasına kadar birçok konuda yardımcı olabilmektedir. CoolPack programı ayrıca şematik şekillerde çizmektedir. Çevrim için seçilen ortak parametre girdileri Tablo 1'de, farklı soğutucu gazlar için hesaplanan değerler ise ayrı tablolarda verilmiştir.



Şekil 1. Tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Tablo 1. Tek kademeli çevrim için girilen sistem parametreleri

| Soğutucu Gazlar | Evaporatör Sıcaklık | Kondenser Sıcaklık | \dot{m} (kg/s) | Kompresör İzentropik Verimlilik (η_s) | Kompresör Isı Kaybı Faktörü (f_Q)[%] | Kompresör Giriş Sıcaklığı (T_1) K |
|------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|--|--|---------------------------------------|
| R12 R22 R134a R404A | (263) K | (303) K | 0,654(kg/s) | 0,7 | 0,7 | (278) K |

Tablo 1’de tek kademeli çevrim için verilen parametreler, soğutucu gazlar arasında kıyaslama yapabilmek için aynı değerler girilmiştir.

Soğutma çevriminde dolaşan birim akışkan kütlesi için soğutma yükü hesaplanırken;

$$q_E = h_6 - h_5$$

Sistemde kompresör işi aşağıdaki formülle;

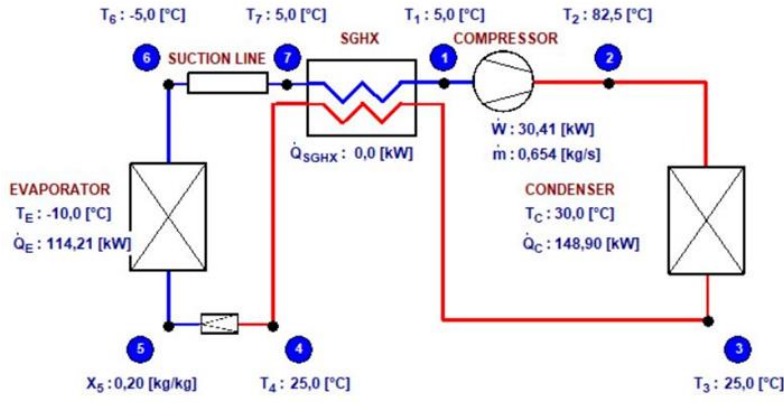
$$w = h_2 - h_1 = \frac{(h_{2s} - h_1)}{\eta_s}$$

bulunur. h_6 ve h_5 evaporatör çıkış ve giriş entalpi değerlerini ifade etmektedir. h_1 kompresör girişindeki entalpi değeri, h_{2s} izentropik sıkıştırma çıkış entalpisi, h_2 ise verim göz önüne alınarak hesaplanan değer çıkış entalpisi.

Soğutma sisteminde etkinlik katsayısını;

$$COP_{SM} = \frac{q_E}{w}$$

ifadesi ile hesaplanır.



Şekil 3. R22 Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

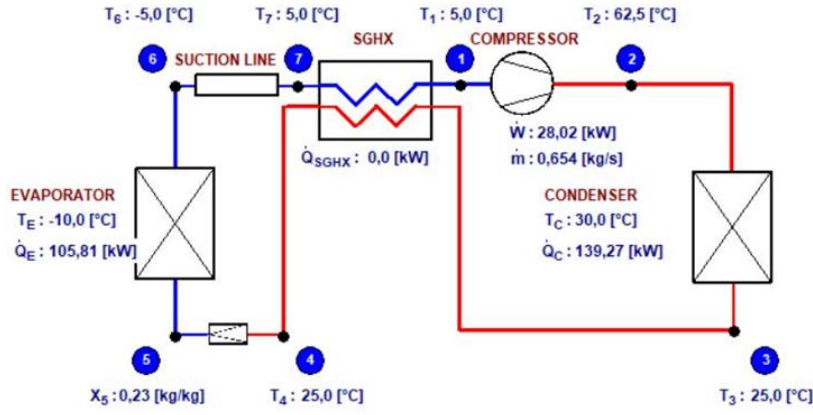
Tablo 4. R22 Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

| Soğutucu Gaz | R-22 |
|-------------------------------------|--------|
| Kütleli Debi [kg/s] | 0,6543 |
| Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | 30,41 |
| Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW) | 0,21 |
| Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | 114,21 |
| T_2 (K) | 355,5 |
| T_4 (K) | 298 |
| h_1 (kJ/kg) | 256,4 |
| h_2 (kJ/kg) | 302,6 |
| h_3 (kJ/kg) | 75 |
| h_5 (kJ/kg) | 75 |
| h_6 (kJ/kg) | 249,6 |
| h_7 (kJ/kg) | 256,4 |
| P_1 (kPa) | 354 |
| P_2 (kPa) | 1191,2 |
| COP_{SM} | 3,755 |

Şekil 3’de tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için soğutucu gazlardan biri olan R 22 gazı incelenmiştir. Tablo 4’te Coolpack programından R22 soğutucu gazı ile sistemin COP_{SM} etkinlik katsayısının değeri hesaplanmıştır. Evaporatör soğutma kapasitesinin (%) 0,7 azaltılmasıyla COP_{SM} etkinlik katsayısının değişimini de görmemize imkân sağlamıştır. Tablo 5’de ise R 22 gazı için yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri verilmiştir.

Tablo 5. R22 Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

| | Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | COP (-) | Kompresör kapasitesi değişimi: |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|---------|--------------------------------|
| Şimdi | 114,21 | 30,41 | 3,755 | -1,03 [%] |
| Yeni | 113,41 | 30,08 | 3,770 | |
| % Değişim | -0,7 | -1,1 | 0,39 | |
| 1kWh’in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760 | | | | |
| Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1445\$ 2891[kWh] | | | | |



Şekil 4. R134a Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

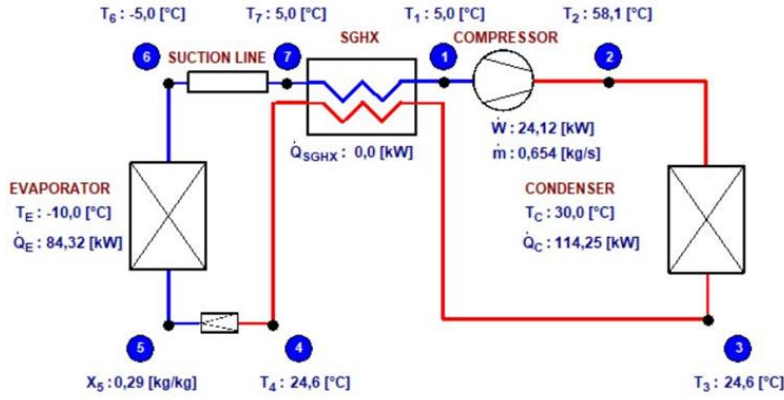
Tablo 6. R134a Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

| Soğutucu Gaz | R-134a |
|-------------------------------------|--------|
| Kütleli Debi [kg/s] | 0,6543 |
| Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | 28,02 |
| Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW) | 0,20 |
| Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | 105,81 |
| T_2 (K) | 335,5 |
| T_4 (K) | 298 |
| h_1 (kJ/kg) | 253,8 |
| h_2 (kJ/kg) | 296,3 |
| h_3 (kJ/kg) | 83,4 |
| h_5 (kJ/kg) | 83,4 |
| h_6 (kJ/kg) | 245,1 |
| h_7 (kJ/kg) | 253,8 |
| P_1 (kPa) | 207,7 |
| P_2 (kPa) | 770,6 |
| COP_{SM} | 3,776 |

Coolpack programından R134a soğutucu gazı için Şekil 4'te verilen noktalar 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 numaralarına karşılık gelen sıcaklık değerlerini de hesaplamak için imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda program ile bu noktalardaki basınç değerlerini de hesaplamaktadır. Tablo 6'da R134a soğutucu gazı için hesaplanan değerler verilmiştir. Tablo 7'de ise R 134a soğutucu gazı için yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri verilmiştir. Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla Tablo 7'de yeni parametrelerle yıllık tasarruf maliyet olarak 1358\$ hesaplanmış, enerji tasarrufu ise 2716 kWh olarak bulunmuştur.

Tablo 7. R134a Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

| | Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | COP (-) | Kompresör kapasitesi değişimi: |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|---------|--------------------------------|
| Şimdi | 105,81 | 28,02 | 3,755 | -1,08 [%] |
| Yeni | 105,07 | 27,71 | 3,770 | |
| % Değişim | -0,7 | -1,1 | 0,4 | |
| 1kWh'in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760 | | | | |
| Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1358\$ 2716 [kWh] | | | | |



Şekil 5. R404A Soğutucu gazı tek kademeli geleneksel buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Tablo 8. R404A Soğutucu gazı tek kademeli çevrim için hesaplanan değerler

| Soğutucu Gaz | R-404A |
|-------------------------------------|--------|
| Kütleli Debi [kg/s] | 0,6543 |
| Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | 24,12 |
| Kompresör Isı Kaybı Q_{loss} (kW) | 0,17 |
| Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | 84,32 |
| T_2 (K) | 331,1 |
| T_4 (K) | 297,6 |
| h_1 (kJ/kg) | 226,7 |
| h_2 (kJ/kg) | 263,3 |
| h_3 (kJ/kg) | 88,7 |
| h_5 (kJ/kg) | 88,7 |
| h_6 (kJ/kg) | 217,6 |
| h_7 (kJ/kg) | 226,7 |
| P_1 (kPa) | 434,1 |
| P_2 (kPa) | 1417,5 |
| COP_{SM} | 3,496 |

Şekil 5'te R404A soğutucu gazı kullanılması durumunda buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi verilmiştir. Tablo 8'de ise buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde hesaplanan değerler verilmiştir.

Coolpack programından seçilen R404A soğutucu gazı için programdan kompresörün harcadığı enerji, kompresör ısı kaybı, evaporatör soğutma kapasitesi, kondenser ve evaporatör sıcaklığı, evaporatöre giren ısı, kondenserden atılan ısı gibi sonuçları alabilme imkânı sağlamaktadır.

Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla R 404A soğutucu gazı için yıllık maliyet ve enerji tasarruf değerleri verilmektedir.

Tablo 9. R404A Yıllık enerji ve maliyet tasarruf değerleri

| | Evaporatör Soğutma Kapasitesi (kW) | Kompresörün Harcadığı Enerji (kW) | COP (-) | Kompresör kapasitesi değişimi: -1,06 [%] |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|---------|--|
| Şimdi | 84,32 | 24,12 | 3,496 | |
| Yeni | 83,73 | 23,85 | 3,551 | |
| % Değişim | -0,7 | -1,1 | 0,42 | |
| 1kWh'in maliyeti: 0,5 \$ Çalışma saati[h] : 8760 | | | | |
| Yeni parametrelerle yıllık tasarruf: 1183\$ 2365 [kWh] | | | | |

4. Tartışma ve Sonuç

Tek kademeli buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde soğutucu akışkan yükü R12, R22, R134a, R404a gazları için sırasıyla 82,79; 114,21; 105,81 ve 84,32 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutma etkinlik katsayısı (COP_{SM}) ise sırasıyla 3,825; 3,755; 3,776; 3,496'dır. Kompresörün harcadığı enerji değerleri sırasıyla 21,65; 30,41; 28,02; 24,12 hesaplanmıştır. Evaporatör soğutma kapasitesi (%) 0,7 azaltılmasıyla kompresör kapasitesindeki değişim değerleri sırasıyla yüzde -1,04; -1,03; -1,08; -1,06 olmaktadır. 1kWh'in maliyeti 0,5 \$ alındığı zaman yıllık tasarrufu dolar para birimi olarak 1051\$; 1445\$; 1358\$; 1183\$ hesaplanmıştır. Yıllık tasarruf değerlerini hesaplayabilmek için bir yıl 365 gün alınmıştır. 1 gün 24 saat olduğundan, 8760 saat için 2102,4; 2891; 2716; 2365 kWh tasarruf sağlanmıştır. Bir soğutma sistemi tasarım/analiz programı olan CoolPack ile soğutucu akışkanın değiştirilmesi ve değiştirilen akışkanın sistem verimine, maliyetine etkisini hızlı bir şekilde değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca programdan yapılacak olan kompresör gücünün ve evaporatör soğutma kapasitesinin değiştirilmesinin sistem verimine ve maliyetine etkinin sonuçlarını da almamıza olanak sağlamaktadır.

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

- Afshari F., Comakli O., Karagöz Ş., Zavaragh HG. A thermodynamic comparison between heat pump and refrigeration device using several refrigerants. *Energy and Buildings* 2018; 168: 272-283.
- Ergün A., Gürel AE., Ceylan İ. Ticari soğutma sistemlerinde R22 akışkanının alternatifi olarak R438A ve R417A akışkanlarının performansının incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 2018; 6(4): 824-833.
- Esen DÖ., Hoşöz M. R12 ve R134a Soğutucu akışkanları kullanan otomobil iklimlendirme sisteminin deneysel performans analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2006; 21(4): 703-709.
- Gao E., Zhang Z., Deng Q., Jing H., Wang X., Zhang X. Techno-economic and environmental analysis of low-GWP alternative refrigerants in cold storage unit under year-round working conditions. *International Journal of Refrigeration* 2022; 134: 197-206.

- Islam M. A., Mitra S., Tu K., Saha BB. Study on thermodynamic and environmental effects of vapor compression refrigeration system employing first to next-generation popular refrigerants. *International Journal of Refrigeration* 2021; 131: 568-580.
- Park WY., Shah N., Vine E., Blake P., Holuj B., Kim JH., Kim DH. Ensuring the climate benefits of the Montreal Protocol: Global governance architecture for cooling efficiency and alternative refrigerants. *Energy Research & Social Science* 2021; 76: 102068.
- Rangel-Hernández VH., Belman-Flores JM., Rodríguez-Valderrama DA., Pardo-Cely D., Rodríguez-Muñoz AP., Ramírez-Minguela JJ. Exergoeconomic performance comparison of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a domestic refrigerator. *International Journal of Refrigeration* 2019; 100: 113-123.
- Selbaş R. Kademeli soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan seçimi için bir uygulama. *Yekarum* 2015; 3(1): 2-11.
- Subiantoro A., Ooi KT. Economic analysis of the application of expanders in medium scale air-conditioners with conventional refrigerants, R1234yf and CO₂. *International Journal of Refrigeration* 2013; 36(5): 1472-1482.
- Wang Y., Liu S., Nian V., Li X., Yuan J. Life cycle cost-benefit analysis of refrigerant replacement based on experience from a supermarket project. *Energy* 2019; 187: 115918.
- Zhang Y., He Y., Wang Y., Wu X., Jia M., Gong Y. Experimental investigation of the performance of an R1270/CO₂ cascade refrigerant system. *International Journal of Refrigeration* 2020; 114, 175-180.
- Zhu Z., Liang K., Li Z., Jiang H., Meng Z. Thermal-economic-environmental analysis on household refrigerator using a variable displacement compressor and low-GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration* 2021; 123, 189-197.

Piyasada Satılan Çeşitli Yüksek Proteinli Laktozsuz Sütlerin Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan İçerikleri

Özge Duygu OKUR^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak

¹<https://orcid.org/0000-0002-5483-2983>

*Sorumlu yazar: oduyguokur@beun.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.04.2022

Kabul tarihi: 22.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Laktozsuz süt
Antioksidan aktivite
Fenolik madde

Bu çalışmanın amacı, özel beslenme grupları (laktoz intoleransına sahip bireyler/aktif spor yapan bireyler) tarafından tüketimi yaygın olan protein içeriği artırılmış laktozsuz süt ürünlerinin antioksidan aktivitesinin araştırılmasıdır. Bu çalışmada, Türkiye piyasasından toplanan protein içeriği artırılmış laktozsuz UHT sütlerde bazı fizikokimyasal analizler ile toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite tayinleri yapılmıştır. Genel olarak farklı markalara ait aynı aromayı içeren laktozsuz süt grupları içerisinde kurumadde arasındaki fark istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$), pH değerlerindeki değişim ise önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Laktozsuz süt örneklerinin fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde, en yüksek değer (sırasıyla 2546,25 mg GAE/L ve 7,01 mM) protein içeriği artırılmış kahveli laktozsuz süt (9B) örneğinde tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Kahveli ve kakaolu örneklerde toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinin kendi aralarındaki değişim önemsiz iken ($p > 0,05$), diğer ürün gruplarından farklılıkları önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Süt çeşitleri arasında toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

Total Phenolic Substance and Antioxidant Contents of Various Lactose-Free High Protein Milks Sold in the Market

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.04.2022

Accepted: 22.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Lactose-free milk
Antioxidant activity
Phenolic substance

The aim of this study is to investigate the antioxidant activity of lactose-free dairy products with increased protein content, which are commonly consumed by special nutrition groups (lactose intolerant individuals/individuals who do active sports). In this study, some physicochemical analyzes and total phenolic substance and antioxidant activity determinations were made in lactose-free UHT milk with increased protein content collected from the Turkish market. In general, the difference between dry matter in lactose-free milk groups containing the same flavor belonging to different brands was statistically significant ($p < 0.05$), while the change in pH values was insignificant ($p > 0.05$). When the phenolic content and antioxidant activity values of the lactose-free milk samples were examined, the highest value (2546.25 mg GAE/L and 7.01 mM, respectively) was found in the lactose-free milk with coffee (9B) sample with increased protein content ($p < 0.05$). While the difference between the total phenolic substance and antioxidant activity values in coffee and cocoa samples was insignificant ($p > 0.05$), the differences from other product groups were significant ($p < 0.05$). The difference between total phenolic substance and antioxidant activity values among milk varieties was significant ($p < 0.05$).

To cite: Okur ÖD. Piyasada Satılan Çeşitli Yüksek Proteinli Laktozsuz Sütlerin Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan İçerikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 427-438.

1. Giriş

Dünya yetişkin nüfusunun %75'inin laktoz hidrolizinden sorumlu enzim olan laktaz (β -galaktosidaz) eksikliğine sahip olduğu tahmin edildiğinden, laktoz içermeyen gıda pazarı son yıllarda önemli ölçüde büyümüştür (Silanikove ve ark., 2015; Suri ve ark., 2019). Ayrıca intoleranların çoğu β -galaktosidaz eksikliği olduğunu bilmemekte ve semptomlara neden olan laktoz miktarı da kişiden kişiye değişmektedir. Bazı tipik semptomlar karın ağrısı, gaz ve ishal olup, bu durumun vücudun beslenme dengesine zarar vermesinin yanı sıra süt ürünlerinin günlük tüketimden çıkarılmasına da neden olduğu bilinmektedir (Sharif ve ark., 2017). Bu nedenle, laktoz içermeyen süt ürünlerinin geliştirilmesi ve tüketimi oldukça önemli olmaktadır (Moreira ve ark., 2017; Cincotta ve ark., 2021; Pereira ve ark., 2020; Pachekrepapol ve ark., 2021). Laktozsuz süt ürünleri sektörü gitgide daha yaygın hale gelmekte ve laktoz intoleransı olan kişilerin süttten yapılan farklı, besleyici ve lezzetli ürünlerden oluşan geniş bir yelpazeden yararlanmaları için mükemmel fırsatlar sunmaktadır (Dekker ve ark., 2019). Özellikle duyuusal kabulü yüksek süt ürünleri arasında laktozsuz aromalı sütler en önde gelenleridir (da Silva ve ark., 2021). Aromalı laktozsuz sütler genellikle güçlü bir tada ve renge sahip olduklarından, normal laktozsuz UHT sütlere kıyasla Maillard reaksiyonu ile ilgili kötü tat ve esmerleşme ile ilgili çok daha az soruna sahip olmaktadır (Li ve ark., 2015).

Yapısında yer alan yüksek kalitede biyoaktif bileşenlerin de etkisiyle süt, günümüzde egzersiz sonrası popüler bir toparlanma gıdası haline gelmiştir (James ve ark., 2019; Rankin ve ark., 2020). Bu etken bileşikler sayesinde süttün birçok durumda geri kazanım amacıyla kullanılması mümkün olmaktadır. Bu aşamada süt özellikle kas protein sentezi veya döngüsüne, rehidrasyona, egzersize bağlı kas ağrılarının yönetimine ve enerji dengesine katkıları ile ön plana çıkmaktadır (Alcantara ve ark., 2019; Rankin ve ark., 2020). Ayrıca inek süttünün oksidatif stresi azaltabilecek antioksidan özelliklere sahip olduğu ve karbonhidrat-protein karışımı tüketiminin lipid peroksidasyonunu azaltabileceği belirtilmiştir (Kerasiotti ve ark., 2012; Khan ve ark., 2019).

Fenolik bileşikler bilinen sağlık etkilerinden dolayı en popüler bileşik grubudur (Acosta-Estrada ve ark., 2014). Vücutta oksidan ve antioksidan dengenin korunmasında önemli rol oynayan fenolik bileşiklerin sahip oldukları biyolojik aktivite antioksidatif, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Kaur ve Mondal, 2014; Zhang ve Tsao, 2016). Süt, fenol, kresol, timol ve karvakrol gibi çeşitli fenolik bileşikleri önemli miktarda içermektedir. Fenolik bileşikler süttün mikrobiyolojik ve organoleptik özelliklerinde önemli rol oynayan ve insan sağlığı için hem fonksiyonel hem de besleyici bileşenlerdir. Süt ürünlerinin antioksidan aktivitesi de bu ürünlere fenolik içerikleri yüksek bileşenlerin ilave edilmesiyle artırılabilir (O'Connell ve Fox, 2001).

Gıdalardaki antioksidan aktivite, hem gıdanın raf ömrü açısından hem de insan vücudundaki oksidatif hasardan bireyleri koruduğu için önemlidir. Artan oksidatif stres, yaşa/diyete bağlı kronik hastalıkların çoğunun başlangıcında rol oynamaktadır (Ames ve ark., 1993; Benzie, 2003). Bu nedenle, antioksidan aktivite temel bir besinsel özellik olarak kabul edilmiştir (Serafini ve Peluso, 2016). Süt ürünleri ürün tipine (örneğin süt, yoğurt, fermente süt ve peynir) ve proses şartlarına (örneğin mekanik, termal ve

fermentatif) bağı olarak değişen oranlarda antioksidan bileşikleri içermektedir. Bu bileşikler süt ürünlerinde lipofilik ve hidrofilik antioksidan yapıları olarak proteinler (özellikle kazein), peptitler, antioksidan enzimler (örneğin süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz), konjuge linoleik asit (KLA), koenzim Q₁₀, laktoferrin, karotenoidler, vitaminler (örneğin C, E, A, D₃) ve bazı mineraller şeklinde belirtilmektedir (Lindmark-Månsson ve Åkesson, 2000; Grażyna ve ark., 2017; Khan ve ark., 2019).

Son zamanlarda sporcular, yaşlılar ve çocukların besin değeri artırılmış gıda ve içeceklere olan talebinin arttığı gözlenmiştir (Niccolai ve ark., 2020). Bu çalışmada, hem aktif spor yapan bireyler/sporcuların hem de laktoz intoleransına sahip bireylerin rahatlıkla tüketebilecekleri laktozsuz ve proteini artırılmış sütlerin fenolik madde ve antioksidan içeriklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca, ticari süt ürünlerinde antioksidan ve fenolik madde içeriklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar mevcut iken (Sönmez ve ark., 2010; Unal, 2012; Ertan ve ark., 2017; Fardet ve Rock, 2018), yüksek protein içerikli laktozsuz süt ürünlerinde belirtilen çalışma sayısı yok denecek kadar azdır (Ağagündüz, 2021). Dolayısıyla belirtilen çalışmanın aynı zamanda literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada Zonguldak piyasasından temin edilen 4 üretici firmaya ait 13 adet farklı tip (sade, çilekli, kakaolu, kahveli, vanilya ve hindistan cevizi aromalı) protein içeriği artırılmış laktozsuz süt örneği (Tablo 1) 3 farklı zamanda (mart, mayıs ve temmuz aylarında) satın alınmış ve örnekler satın alınmasını takip eden bir sonraki gün içerisinde 2 paralelli olarak analiz edilmiştir.

Tablo 1. Süt örnekleri kompozisyonu (A-D: Üretici Firmalar)

| Örnek Kodu | Süt çeşidi | İçerik |
|------------|--|-------------------------|
| 1A | Laktozsuz yüksek proteinli vanilya aromalı UHT süt | Yağsız süt |
| 2B | Laktozsuz yüksek proteinli vitamin (B ₁ , B ₃ , B ₆ , B ₁₂) ve L-karnitin ilaveli vanilya aromalı UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |
| 3C | Laktozsuz kakaolu UHT süt | En az %1 yağlı süt |
| 4A | Laktozsuz yüksek proteinli kakaolu UHT süt | Yağsız süt |
| 5B | Laktozsuz yüksek proteinli vitamin (B ₁ , B ₃ , B ₆ , B ₁₂) ve L-karnitin ilaveli kakaolu UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |
| 6B | Laktozsuz yüksek proteinli vitamin (B ₁ , B ₃ , B ₆ , B ₁₂) ve L-karnitin ilaveli çilekli UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |
| 7A | Laktozsuz yüksek proteinli çilekli UHT süt | Yağsız süt |
| 8A | Laktozsuz yüksek proteinli kahveli UHT süt | Yağsız süt |
| 9B | Laktozsuz yüksek proteinli vitamin (B ₁ , B ₃ , B ₆ , B ₁₂) ve L-karnitin ilaveli kahveli UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |

| | | |
|------------|---|------------------------------|
| 10D | Laktozsuz yüksek proteinli hindistan cevizi aromalı UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |
| 11B | Laktozsuz yüksek proteinli vitamin (B ₁ , B ₃ , B ₆ , B ₁₂) ve L-karnitin ilaveli hindistan cevizi aromalı UHT süt | Yağsız (%0,3 yağlı) süt |
| 12A | Laktozsuz UHT süt | Yarım yağlı (%1,5 yağlı) süt |
| 13B | Laktozsuz UHT süt | Yarım yağlı (%1,5 yağlı) süt |

2.2. Metot

2.2.1. Analitik Metotlar

Örneklerin pH ve kuru madde analizleri AOAC prosedürlerine uygun olarak yapılmıştır (AOAC, 1997).

2.2.2. Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde içeriği standart olarak gallik asit kullanılarak Folin-Ciocalteu yöntemi ile spektrofotometrede (Shimadzu Scientific Instruments, Inc., Tokyo, Japonya) 760 nm de ölçülerek belirlenmiştir. Sonuçlar mg GAE/L olarak verilmiştir (Singleton ve Rossi, 1965).

2.2.3. Antioksidan Aktivite Tayini

- *TEAC (ABTS) Yöntemi*

Örneklerin toplam antioksidan aktivitesinin belirlenmesi amacıyla 7 mM 2,2'-azinobis (3-etil-benzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS) stok solüsyonu ve 2,45 mM potasyum persülfat çözeltisi karanlıkta 12-16 saat reaksiyona sokulmuş ve ABTS⁺ radikal katyonu elde edilmiştir. Örnek dilüsyonları fosfat tamponu (pH:7,4) kullanımıyla hazırlanmıştır. 2,2'-azinobis (3-etil-benzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS) çözeltisinin 2 mL'si üzerine 20 µL örnek veya troloks (farklı dilüsyon aralığında hazırlanmış) ilave edilmiş ve 6 dakikada reaksiyonun tamamlanması beklenmiştir. Antioksidanların radikalle reaksiyonu radikalın 734 nm'deki absorbansının düşürülmesi ile belirlenmiştir. Farklı troloks konsantrasyonları için standart eğri oluşturularak örneklerin troloks eşdeğeri antioksidan kapasiteleri (TEAC) hesaplanmıştır. Sonuçlar mM Troloks Eşdeğeri olarak ifade edilmiştir (Re ve ark., 1999).

- *İstatistiksel değerlendirme*

Elde edilen veriler SPSS 16.0 istatistik programı kullanılarak ANOVA varyans analizine tabi tutulmuştur ve önemli çıkan farklılıklara Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (SPSS, 2017). Çalışma üç tekerrürlü olarak yürütülmüş ve analizler iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kurumadde ve pH Analiz Sonuçları

Protein içeriği artırılmış laktozsuz süt örneklerinde belirlenen kurumadde miktarları ve pH değerleri Tablo 2’de verilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, ürün grupları arasında pH değerlerindeki değişim önemli olup ($p<0,05$), farklı markalara ait aynı aromalı sütlerde pH değerleri değişimi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$).

Tablo 2. Protein içeriği artırılmış laktozsuz süt örneklerinin kurumadde ve pH değerleri (ortalama± standart hata)

| Örnek Kodu | Çeşit | pH | Kurumadde (%) |
|------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| 1A | Vanilya | 6,93±0,00 ^a | 11,86±0,00 ^a |
| 2B | Vanilya | 6,63±0,00 ^b | 12,57±0,01 ^b |
| 3C | Kakao | 6,68±0,00 ^b | 10,86±0,01 ^c |
| 4A | Kakao | 6,95±0,00 ^a | 11,10±0,01 ^d |
| 5B | Kakao | 6,71±0,00 ^b | 13,60±0,02 ^e |
| 6B | Çilek | 6,57±0,02 ^b | 12,44±0,04 ^f |
| 7A | Çilek | 6,58±0,00 ^b | 12,60±0,01 ^b |
| 8A | Kahve | 6,84±0,01 ^c | 11,80±0,01 ^a |
| 9B | Kahve | 6,87±0,00 ^c | 11,94±0,05 ^a |
| 10D | Hindistan cevizi | 6,62±0,01 ^b | 12,15±0,01 ^g |
| 11B | Hindistan cevizi | 6,60±0,01 ^b | 12,08±0,01 ^g |
| 12A | Sade | 6,81±0,01 ^c | 10,28±0,01 ^h |
| 13B | Sade | 6,83±0,00 ^c | 10,17±0,00 ^h |

Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel farklılığı ifade etmektedir ($p<0,05$)

Genel olarak farklı markalara ait aynı aromayı içeren ürün grupları içerisinde kurumadde değişimi önemli ($p<0,05$) bulunurken, kahveli (8, 9), hindistan cevizi aromalı (10, 11) ve sade (12, 13) örneklerde ürün grupları arasında kurumadde değişimi farksız bulunmuştur ($p>0,05$).

3.2. Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Sonuçları

Protein içeriği artırılmış çeşitli laktozsuz süt örneklerinde tespit edilen toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktivite değerleri Tablo 3’ de verilmiştir. Ürünlerin fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde (Tablo 3), en yüksek değerler sırasıyla 2546,25 mg GAE/L ve 7,01 mM olarak protein içeriği artırılmış kahveli laktozsuz süt (9) örneğinde tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Süt ve süt ürünlerinin antioksidan kapasitesi özellikle kükürt içeren sistein amino asitleri, A, E, C ve D₃ vitaminleri, karotenoidler, mineraller, süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi antioksidan enzimler, konjuge linoleik asit ve koenzim Q₁₀ gibi biyoaktif bileşenlerden kaynaklanmaktadır (Usta ve Yılmaz-Ersan, 2013; Khan ve ark., 2019). Aynı zamanda sütteki protein

fraksiyonları, özellikle kazein, antioksidan aktivite göstermektedir (Fardet ve Rock, 2018). Süt ayrıca, daidzein'in polifenolik bir metaboliti olan ve antioksidan aktivitesi bilimsel olarak belirlenmiş olan equol'u kayda değer miktarda içermektedir (Mustonen ve ark., 2009). Sütün antioksidan sistemleri tarafından süperoksit radikalleri, hidroksil radikalleri ve peroksit radikalleri engellenebilmektedir (Tong ve ark., 2000). Ticari UHT kutu sütlerde yapılan bir çalışmada toplam antioksidan kapasite değerlerinin 12,0-14,5 mM aralığında Troloks eşdeğeri olarak yüksek olduğu görülmektedir (Fardet ve Rock, 2018). Bu çalışmada ise değerlendirilen ürün grupları protein içeriği bakımından zenginleştirilmiş laktozsuz süt örnekleri olduğu için, temel bileşenlerin yanı sıra artırılmış protein fraksiyonları nedeniyle toplam antioksidan ve fenolik madde içerikleri sade sütlere göre yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Türkiye piyasasından toplanılan yüksek protein içerikli laktozsuz süt ürünlerinin toplam antioksidan içeriklerinin belirlendiği diğer bir çalışmada, mevcut çalışmamıza benzer olarak en yüksek toplam antioksidan değerleri kahve (2,88-3,17 mmol/L) ve kakao (2,86-2,88 mmol/L) aromalı laktozsuz sütlerde tespit edilmiştir (Ağagündüz, 2021). Piyasadan toplanan farklı yağ içerikli pastörize ve UHT kutu sütlerde toplam antioksidan ve fenolik madde içeriğinin belirlenmesine yönelik yapılan bir diğer çalışmada ise, süt örneklerinin toplam fenolik madde içeriği 505,46 ile 982,14 mg GAE/L arasında değişmiştir. Örneklerin toplam antioksidan kapasiteleri sırasıyla pastörize sütte 280,25 μ M Trolox eşdeğeri, tam yağlı UHT sütte 240,30 μ M TE, yağsız UHT sütte 216,78 μ M TE ve yarım yağlı UHT sütte 209,81 μ M TE bulunmuştur (Ertan ve ark., 2017). Ticari süt ürünlerinin antioksidan aktivitelerinin belirlendiği bir çalışmada, UHT süt ürünleri grubunda en yüksek DPPH süpürme aktiviteleri yağ içeriği yüksek sütler ve omega-3 yağ asitleri ile zenginleştirilmiş sütlerde elde edilmiştir. Bu yüksek değerlerin nedeni olarak yağda çözünen antioksidanların ve yağ globül membran proteinlerinin reaktivitesi örnek verilmiştir (Unal, 2012). Piyasadan toplanan sade ve farklı aromalı UHT kutu sütlerde toplam fenolik madde ve antioksidan içeriğinin belirlenmesine yönelik yapılan diğer bir çalışmada elde edilen sonuçlara göre, çilek aromalı, çikolatalı ve sade sütlerde toplam fenolik madde içeriği ortalama olarak sırasıyla 1152,93, 1587,52 ve 1030,10 mg GAE/L, TEAC değerleri sırasıyla 5,38, 6,25 ve 4,31mM Troloks eşdeğeri, ORAC değerleri ise sırasıyla 3,38, 4,31 ve 2,98 μ mol Troloks eşdeğeri/mL olarak bulunmuştur (Sönmez ve ark., 2010). Literatürde yer alan fenolik madde ve antioksidan içeriklerine dair sayısal farklılıkların özellikle numune hazırlama, örnek ekstraksiyonu ve bileşen farklılıklarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Tablo 3. Protein içeriği artırılmış laktozsuz süt örneklerinin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite içeriği (ortalama \pm standart hata)

| Örnek Kodu | Çeşit | Fenolik madde (mg GAE/L) | TEAC (mM) |
|------------|---------|----------------------------------|------------------------------|
| 1A | Vanilya | 1552,50 \pm 6,25 ^a | 4,11 \pm 0,04 ^a |
| 2B | Vanilya | 1858,75 \pm 12,50 ^b | 4,98 \pm 0,02 ^b |
| 3C | Kakao | 1965,00 \pm 6,25 ^c | 5,28 \pm 0,04 ^c |

| | | | |
|------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| 4A | Kakao | 2527,50±6,25 ^d | 6,30±0,04 ^d |
| 5B | Kakao | 2490,00±6,25 ^d | 6,16±0,02 ^d |
| 6B | Çilek | 1808,75±12,50 ^b | 4,37±0,02 ^a |
| 7A | Çilek | 1827,50±6,25 ^b | 4,66±0,02 ^e |
| 8A | Kahve | 2502,50±6,25 ^d | 6,22±0,04 ^d |
| 9B | Kahve | 2546,25±12,50 ^d | 7,01±0,02 ^f |
| 10D | Hindistan cevizi | 1802,50±6,25 ^b | 4,25±0,02 ^a |
| 11B | Hindistan cevizi | 1815,00±18,75 ^b | 4,49±0,02 ^a |
| 12A | Sade | 1177,50±6,25 ^e | 3,12±0,02 ^g |
| 13B | Sade | 1183,75±12,50 ^e | 3,08±0,02 ^g |

Aynı sütündeki farklı harfler istatistiksel farklılığı ifade etmektedir (p<0,05)

Bu araştırmada, özellikle kahveli ve kakaolu örneklerde (3C, 4A, 5B, 8A, 9B) toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri kendi içlerinde istatistiksel olarak farksız (p>0,05), diğer ürün gruplarında ise farklı bulunmuştur (p<0,05). Fenolik bileşikler ve alkaloidler, otoburlara ve patojen organizmalara karşı koruma sağlamak için ikincil bitki metabolitleridir. Gıdalarda, fenolikler duyuşal özelliklerin yanı sıra oksidatif stabiliteye ve antimikrobiyal korumaya katkıda bulunmaktadır (Baroni ve ark., 2021). Kahvenin sağlığa faydalı etkileri genellikle yüksek antioksidan aktivitesine atfedilmektedir (Bajaj ve Ballal, 2021; Çelik ve Gökmen, 2018; Yashin ve ark., 2013). Kahve, bitkinin ikincil metabolitleri olan polifenoller açısından zengindir (Wang ve Ho, 2009). Kahvenin temel polifenoller arasında klorojenik asit ve türevleri gibi fenolik asitler gelmektedir. Kahve, bunun yanı sıra epikateşinler, isoflavonlar, prosiyanidinler ve antosiyanidinler gibi flavonoidlerin de potansiyel kaynakları arasındadır (Ramirez-Coronel ve ark., 2004; Alves ve ark., 2010; Mullen ve ark., 2013). Kafein, trigonellin ve diterpenler de yeşil kahvenin önemli biyoaktif bileşenleridir. Kavrulma esnasında meydana gelen ve klorojenik asitlerin yıkım ürünleri olan melanoidinler de biyolojik aktiviteye sahip olmalarıyla bilinmektedir (Rodrigues ve Bragagnolo, 2013; Coelho ve ark., 2014). Kakao, çözünür fenolik bileşikler ve çözünmeyen polifenolikler dahil olmak üzere çok çeşitli antioksidanlar içermektedir (Sies ve ark., 2005; Hii ve ark., 2009; Çelik ve Gökmen, 2018). Kakao özellikle zengin bir fenolik asit ve flavan-3-ol kaynağıdır (Bruna ve ark., 2009; Hussain ve ark., 2021; Martínez ve ark., 2012; Mudenuiti ve ark., 2021).

L-karnitin, yağ asitlerinin β-oksidasyonu için gerekli olan endojen bir maddedir ve glikojen tutucu etkisinden dolayı ağırlıklı olarak sporcu beslenmesi alanında çalışılmaktadır (Sung ve ark., 2016). L-karnitin takviyesinin egzersiz performansını iyileştirmesinin yanı sıra, endojen antioksidan savunma sistemini ivmelendirdiği, lipid peroksidasyonunu önlediği ve oksidatif stresi inhibe ettiği bildirilmiştir (Karanth ve Jeevaratnam, 2005). Çalışılan örneklerde bir örnekte (B) içeriğinde yer alan bu bileşenin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite bakımından diğer ürün grupları ile karşılaştırıldığında etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur (p>0,05).

4. Sonuçlar

Toplumda beslenme alışkanlıkları, yaşam tarzları ve sağlık faktörleri gıda piyasasının fikirlerini giderek daha fazla takip etmekte ve bu da endüstrinin duysal ve beslenme açısından daha çekici gıdalar getirme sorumluluğunu güçlendirmektedir. Gıda piyasasında yeni gıda ürünlerinin yer alması, tüketiciler için kalite ve çeşitlilik, üreticiler için de daha yüksek kar ve azalan üretim maliyetleri dahil olmak üzere çok sayıda avantaj getirmektedir. Bu bağlamda özel tüketici gruplarına hitap eden ticari laktozsuz ve yüksek protein içerikli fonksiyonel süt ürünlerinin beslenme ve sağlık açısından güncel yöntemlerle toplam antioksidan aktivitelerinin ve fenolik madde içeriklerinin belirlenmesi önemli olmaktadır. Bu çalışmada, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerleri bakımından özellikle protein içeriği artırılmış laktozsuz kahveli ve kakaolu süt örneklerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Genel olarak çilekli, hindistan cevizi ve vanilya aromalı süt örneklerinin ise kontrol örneğine göre değişimleri önemli düzeyde bulunmuştur. Bu bağlamda bahsi geçen ürünleri tüketen özel tüketici gruplarının özellikle sade örneklerden ziyade sırasıyla kahveli, kakaolu, çilekli, vanilya ve hindistan cevizi aromalı ürünleri tercih ederek daha sağlıklı seçimler yapacağı düşünölmekte ve bireylere bu tarz bir tüketim önerilmektedir. Bilhassa laktoz intoleransı olan bireyler ve aktif spor yapan kişiler için tercih edilir olan bu ürünlerde sağlık etkileri bilinen antioksidan ve fenolik madde yapılarının bilinmesinin, konu ile ilgili yapılmış olan çalışma sayısının da yok denecek kadar az olduğu göz önünde bulundurulurak literatüre katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Acosta-Estrada BA., Gutiérrez-Urbe JA., Serna-Saldívar SO. Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry* 2014; 152(3): 46-55.

Ağagündüz D. Preliminary exploration of total antioxidant and oxidant status of novel high-protein milk products. *Journal of Food and Nutrition Research* 2021; 60(1): 1-8.

Alcantara JM., Sanchez-Delgado G., Martinez-Tellez B., Labayen I., Ruiz JR. Impact of cow's milk intake on exercise performance and recovery of muscle function: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2019; 16(22): 41-52.

Alves RC., Almeida IM., Casal S., Oliveira MB. Isoflavones in coffee: influence of species, roast degree, and brewing method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2010; 58(5): 3002-3007.

- Ames BN., Shigenaga MK., Hagen TM. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 1993; 90(2): 7915–7922.
- AOAC Method 947.05, 990.19. Official methods of analysis of AOAC international (16th ed.). Gaithersburg, MD 20877-2417. USA; 1997.
- Bajaj D., Ballal S. A review on antioxidant activity of coffee and its additives. *Journal of Pharmaceutical Research International* 2021; 33(25B): 77-85.
- Baroni L., Sarni AR., Zuliani C. Plant foods rich in antioxidants and human cognition: A systematic review. *Antioxidants* 2021; 10(5): 714-727.
- Benzie IFF. Evolution of dietary antioxidants. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 2003; 136(1): 113–126.
- Bruna C., Eichholz I., Rohn S., Kroh LW., Huyskens–Keil S. Bioactive compounds and antioxidant activity of cocoa hulls (*Theobroma cacao L.*) from different origins. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 2009; 83(1): 9–13.
- Cincotta F, Conduro C., Tripodi G., Merlino M., Prestia O., Stanton C., Verzera A. Comparison of lactose free and traditional mozzarella cheese during shelf-life by aroma compounds and sensory analysis. *LWT- Food Science and Technology* 2021; 140(1): 110-118.
- Coelho C., Ribeiro M., Cruz AC., Domingues MR., Coimbra MA., Bunzel M., Nunes FM. Nature of phenolic compounds in coffee melanoidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2014; 62(31): 7843-7853.
- Çelik EE., Gökmen V. A study on interactions between the insoluble fractions of different coffee infusions and major cocoa free antioxidants and different coffee infusions and dark chocolate. *Food Chemistry* 2018; 255(2): 8–14.
- da Silva CD., de Oliveira DR., Perrone ÍT., Fonseca CH, Garcia ES. Low-fat, lactose-free and leucine-enriched chocolate cow milk prototype: A preliminary study on sensorial acceptability and gastrointestinal complaints following exhaustive exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2021; 18(14): 1-9.
- Dekker PJT., Koenders D., Bruins MJ. Lactose-free dairy products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. *Nutrients* 2019; 11(3): 551-565.
- Ertan K., Bayana D., Gokce O., Alatosava T., Yılmaz Y., Gursoy O. Total antioxidant capacity and phenolic content of pasteurized and UHT-treated cow milk samples marketed in Turkey. *Akademik Gıda* 2017; 15(2): 103-108.
- Fardet A., Rock E. *In vitro* and *in vivo* antioxidant potential of milks, yoghurts, fermented milks and cheeses: a narrative review of evidence. *Nutrition Research Reviews* 2018; 31(1): 52–70.
- Grażyna C., Hanna C., Adam A., Magdalena BM. Natural antioxidants in milk and dairy products. *International Journal of Dairy Technology* 2017; 70(2): 165–178.

- Grossmann M. Phenolics and alkaloids of raw cocoa nibs and husk: The role of soluble and insoluble-bound antioxidants. *Food Bioscience* 2021; 42(1): 101-108.
- Hii CL., Law CL., Suzannah S., Miswani S., Cloke M. Polyphenols in cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2009; 2(4): 702-722.
- Hussain N., bt Md Dali AZ., Munawar N. Effects of fat contents and particle size of cocoa nibs on alkaloid composition, antioxidant activities, and volatile compound of concentrated cocoa drink. *Journal of Food Processing and Preservation* 2021; 45(9): 157-166.
- James LJ., Stevenson EJ., Rumbold P., Hulston CJ. Cow's milk as a post-exercise recovery drink: implications for performance and health. *European Journal of Sport Science* 2019; 19(1): 40–48.
- Kaur S., Mondal P. Study of total phenolic and flavonoid content, antioxidant activity and antimicrobial properties of medicinal plants. *Journal of Microbiology & Experimentation* 2014; 1(1): 58-71.
- Karanth J., Jeevaratnam K. Oxidative stress and antioxidant status in rat blood, liver and muscle: effect of dietary lipid, carnitine and exercise. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 2005; 75(1): 333–339.
- Kerasioti E., Kiskini A., Veskoukis A., Jamurtas A., Tsitsimpikou C., Tsatsakis AM., Koutedakis Y., Stagos D., Kouretas D., Karathanos V. Effect of a special carbohydrate-protein cake on oxidative stress markers after exhaustive cycling in humans. *Food and Chemical Toxicology* 2012; 50(8): 2805–2810.
- Khan IT., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal MH. Antioxidant properties of milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease* 2019; 18(1): 41-49.
- Li XE., Lopetcharat K., Qiu Y., Drake MA. Sugar reduction of skim chocolate milk and viability of alternative sweetening through lactose hydrolysis. *Journal of Dairy Science* 2015; 98(3): 1455–1466.
- Lindmark-Månsson H., Åkesson B. Antioxidative factors in milk. *British Journal of Nutrition* 2000; 84(S1): 103–110.
- Martínez R., Torres P., Meneses MA., Figueroa JG., Pérez-Álvarez JA., Viuda-Martos M. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) coproducts. *Food Research International* 2012; 49(1): 39–45.
- Moreira TC., da Silva ÁT., Fagundes C., Ferreira SMR., Cândido LMB., Passos M., Krüger CCH. Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *LWT-Food Science and Technology* 2017; 76(4): 326–329.
- Mudenuti N.V.R., de Camargo A.C., de Alencar S.M., Danielski R., Shahidi F., Madeira T.B., Hirooka E.Y., Spinosa W.A., Grossmann M.V.E. Phenolics and alkaloids of raw cocoa nibs and husk: The role of soluble and insoluble-bound antioxidants. *Food Bioscience* 2021; 42: 101085.

- Mullen W., Nemzer B., Stalmach A., Ali S., Combet E. Polyphenolic and hydroxycinnamate contents of whole coffee fruits from China, India, and Mexico. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2013; 61(22): 5298-5309.
- Mustonen EA., Tuori M., Saastamoinen I., Taponen J., Wahala K., Saloniemi H., Vanhatalo A. Equol in milk of dairy cows is derived from forage legumes such as red clover. *British Journal of Nutrition* 2009; 102(11): 1552–1556.
- Niccolai A., Bažec K., Rodolfi L., Biondi N., Zlatić E., Jamnik P., Tredici MR. Lactic acid fermentation of *arthrospira platensis* (spirulina) in a vegetal soybean drink for developing new functional lactose-free beverages. *Frontiers in Microbiology* 2020; 11(3): 560-571.
- O’Connell JE., Fox PF. Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review. *International Dairy Journal* 2001; 11(3): 103-120.
- Pachekrepapol U, Somboonchai N, Krimjai W. Physicochemical, rheological, and microbiological properties of lactose-free functional yogurt supplemented with fructooligosaccharides. *Journal of Food Processing and Preservation* 2021; 45(1): 27-35.
- Pereira JA., Pinto SS., Dias CO., Vieira MPT., Ribeiro DHB., Amboni RDMC., Fritzen-freire CB. Potentially symbiotic fermented milk: A preliminary approach using lactose-free milk. *LWT-Food Science and Technology* 2020; 118(6): 843-847.
- ramirez-coronel ma., marnet n., kolli vsk., roussos s., guyot s., augur c. characterization and estimation of proanthocyanidins and other phenolics in coffee pulp (*Coffea arabica*) by thiolysis–high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2004; 52(5): 1344-1349.
- Rankin P., Callanan D., O’Brien K., Davison G., Stevenson EJ., Cockburn E. Can milk affect recovery from simulated team-sport match play? *Nutrients* 2020; 12(1): 112-117.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans CA. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 1999; 26(9-10): 1231–1237.
- Rodrigues NP., Bragagnolo N. Identification and quantification of bioactive compounds in coffee brews by HPLC–DAD–MSn. *Journal of Food Composition and Analysis* 2013; 32(2): 105-115.
- Serafini M., Peluso I. Functional foods for health: the interrelated antioxidant and anti-inflammatory role of fruits, vegetables, herbs, spices and cocoa in humans. *Current Pharmaceutical Design* 2016; 22(44): 6701–6715.
- Sharif A., Khan S., Qamar F., Naveed S., Ghauri AO. Lactose intolerance and inheritance of lactase Persistence: A review. *RADS Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 2017; 5(3): 70–74.
- Sies H., Schewe T., Heiss C., Kelm M. Cocoa polyphenols and inflammatory mediators. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2005; 81(1): 304-312.

- Silanikove N., Leitner G., Merin U. The interrelationships between lactose intolerance and the modern dairy industry: global perspectives in evolutionary and historical backgrounds, *Nutrients* 2015; 7: 7312–7331.
- Singleton VL., Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 1965; 16(3): 144-158.
- Sönmez C., Ertuş G., Okur ÖD., Güzel-Seydim Z. UHT sütlerin bazı kalite kriterlerinin ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 2010; 8(1): 13-16.
- SPSS Statistics Student Version 16.0, 2017 SPSS Inc., Chicago, IL; 2017
- Sung DJ., Kim S., Kim J., An H., So WY. Role of l-carnitine in sports performance: Focus on ergogenic aid and antioxidant. *Science & Sports* 2016; 31(4): 177-188.
- Suri S., Kumar V., Prasad R., Tanwar B., Goyal A., Kaur S., Gat Y., Kumar A., Kaur J., Singh D. Considerations for development of lactose-free food. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism* 2019; 15(1): 27-34.
- Tong LM., Sasaki S., McClements DJ., Decker EA. Mechanisms of the antioxidant activity of a high molecular weight fraction of whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000; 48(5): 1473-1478.
- Unal G. Antioxidant activity of commercial dairy products. *Agro FOOD Industry Hi Tech* 2012; 23(1): 39-42.
- Usta B., Yilmaz-Ersan L. Antioxidant enzymes of milk and their biological effects. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University* 2013; 27(2): 123-130.
- Wang Y., Ho CT. Polyphenolic chemistry of tea and coffee: a century of progress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2009; 57(18): 8109-8114.
- Yashin A., Yashin Y., Wang JY., Nemzer, B. Antioxidant and antiradical activity of coffee. *Antioxidants (Basel, Switzerland)* 2013; 2(4): 230–245.
- Zhang H., Tsao R. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science* 2016; 8(2): 33-42.

Kentsel Yaşam Kalitesi Yeşil Alan İlişkisi: Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Örneği

Dilem AKTAŞ¹, Tuğba KİPER^{2*}

¹ Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi, Tekirdağ

² Tekirdağ Namık Kemal Ün., Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fak., Peyzaj Mimarlığı Böl., 59030, Tekirdağ

¹ <https://orcid.org/0000-0003-1968-1291>

² <https://orcid.org/0000-0003-3396-5661>

*Sorumlu yazar: tkiper@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.03.2022

Kabul tarihi:29.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Yaşam kalitesi

Yaşanılabilirlik,

Yeşil Alan

Kentsel Yaşam Kalitesi

Tekirdağ/Çorlu

ÖZ

Araştırma konusunu “Ülke kalkınma plan ve stratejileri ile uyumlu olarak kentsel yaşam kalitesi ile yeşil alanlar arasında önemli bir ilişki vardır” hipotezi çerçevesinde kentsel alanlarda mekansal anlamda yeşil alanlara ilişkin mevcut durum tespitinin yapılması oluşturmaktadır. Bu amaçla Tekirdağ İli Çorlu İlçesi özelinde gözlem, analiz ve değerlendirmelere dayalı olarak harita ve çizelgelerle desteklenen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatür taramaları, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları ile desteklenen veri toplama aşamasının ardından, kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temelinde alan özelinde analizler (erişilebilirlik, ulaşım, kentsel alan kullanımı, nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı, odak noktaları, yeşil alan durumu, doluluk boşluk analizi) yapılmıştır. Nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı ile yeşil alan durum tespitlerine ilişkin analizler ilçe ve mahalleler düzeyinde ortaya konmuştur. İlgili analiz ve değerlendirmeler, mekansal düzeyde kentsel yaşam kalitesi yeşil alanlar ilişkisini desteklemesi açısından benzer çalışmalara katkı sağlayacaktır.

The Relationship Between Urban Life Quality and Green Area: The Case of Çorlu District of Tekirdağ Province

Research Article

Article History:

Received: 19.03.2022

Accepted: 29.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Life quality

Livability

Green spaces

Urban life quality

Tekirdağ/Çorlu

ABSTRACT

The aim of the research is to determine the spatial distribution of green spaces in urban areas within the framework of the hypothesis “There is an important relationship between urban life quality and green spaces in line with the county’s development plans and strategies.” The study was carried out in Çorlu District of Tekirdağ Province supported by observations, analyses and evaluations of maps and charts. After literature review and data collection processes consisting of field studies and office work, analyses on the basis of the relationship between urban life quality and green spaces (accessibility, transportation, urban land-use, population density, and distribution of population, focal points, green space status, and occupancy gap analysis) were performed. Population density and analyses regarding distribution of the population and the spatial distribution of green spaces were made at the district and neighborhood level. Related analyses and evaluations will contribute to similar studies with regards to the relationship between urban life quality and green spaces on a spatial level.

To Cite: Aktaş D., Kiper T. Kentsel Yaşam Kalitesi Yeşil Alan İlişkisi: Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 439-461.

1. Giriş

Yaşam kalitesi; nesnel ve öznel ölçütler çerçevesinde kent-toplum-birey ilişkisi temelinde kişilerin iyi olma hali, refah seviyesi veya memnuniyet düzeyleri ile ilişkilendirilen çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmıştır (Rogerson, 1999; Stimson ve Marans, 2006; Nimmerfeldt, 2015; Mahdi ve ark., 2016; Akpolat ve ark., 2021). Kentsel yaşam kalitesi ise, Geray (1998)'ın da belirttiği gibi, kente özgü toplumsal gereksinimlerin karşılanma düzeyi olarak tanımlanmıştır (Sarı ve Kındap, 2018). Bu anlamda kentlerin sundukları imkânlar ve süreç içerisindeki gelişimleri, yaşam kalitesi ve kentsel yaşam kalitesinin belirlenmesi ve ölçülmesinde etkili olacaktır. Öyle ki; zaman içerisinde, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Avrupa ve diğer ülkelerin birçoğunda özellikle de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, birçok alanda değişim ve gelişimler yaşanmıştır (On Birinci Kalkınma Planı Kentsel Yaşam Kalitesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2018). Özellikle de sanayileşme ve hızlı nüfus artış oranı ile birlikte; eğitim, sağlık, konut, tarım, sanayi gibi birçok alanda değişimler olmuştur. Değişimler ile birlikte dünyadaki kentlerin hızlı büyümesi paralelinde kırsal alanlardan kente göç artmıştır. Bunun sonucu olarak da dinamik bir yapı gösteren kentsel alanlar, çevresel, mekânsal ve sosyal anlamda farklılaşmıştır. Kentsel alanlarda artan nüfusa bağlı olarak; arazi kullanımı/örtüsü, ulaşım, yerel iklim, yapılaşma, açık-yeşil alan kullanımında olumsuz değişimler yaşanmaktadır. Tüm bu süreç içerisinde kentsel alanlarda görülen ve yaşanan bu değişimlerin sonucunda, “yaşam kalitesi”, “yaşanılabilirlik”, “yaşayabilirlik”, “sürdürülebilirlik”, “kentsel yaşam” gibi konular dünya ülkeleri için önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bununla birlikte, kentsel yaşam kalitesinin ölçülmesine yönelik; Birleşmiş Milletler (BM), Avrupa Birliği (AB), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD), Habitat I, Habitat II, Habitat III, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası teşkilat, birlik gibi oluşumlar özelinde gösterge setleri tanımlanmıştır.

Ulusal ölçekte ise; üst ölçek plan yaklaşımlarının temel hedeflerinde yaşanılabilirlik ve yaşam kalitesi yer almıştır. Özellikle de Onuncu ve On Birinci Kalkınma Planlarında “yaşanabilir şehirler ve sürdürülebilir çevre” temaları üzerine vurgu yapılmıştır. Nitekim 2019-2023 plan hedeflerinde; On Birinci Kalkınma Planı Kentsel Yaşam Kalitesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda; "Kentsel yaşam kalitesi açık yeşil alan ilişkisi, yerel ölçekli parametrelerin geliştirilmesi", 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında; “Hayata değer katan yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler” oluşturulması, 2010-2023 Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı hedeflerinde ise “Yerleşmelerin mekân ve yaşam kalitesinin artırılması” hedeflenmektedir. Mekansal Planlama Sistemine İlişkin Değerlendirme Raporu (2018)'nda ise; kentsel alanlarda “yaşanabilirlik seviyesinin artırılması” hedeflenmiştir (Sarı ve ark., 2018). Üst ölçek plan yaklaşımlarına ek olarak 29030 sayılı Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği'nde yaşam kalitesine vurgu yapılmıştır. İlgili yönetmelikte; mekânsal strateji planlarına yönelik olarak "Mekânsal uyumun gözetilmesi ve yaşam kalitesinin artırılması" ifadeleri yer almaktadır. Ayrıca, kentsel alan kullanımları ve açık yeşil alanlara ilişkin erişim mesafeleri tanımlanmıştır.

Ulusal üst ölçek plan yaklaşımlarının dışında literatür incelendiğinde; akademik anlamda da kentsel yaşam kalitesi konusunda, halk sağlığının yanısıra farklı bilim dallarında çeşitli çalışmaların gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir (Ulrich ve Addoms, 1981; Moscardo, 2009; Dolnicar ve ark., 2013). Bu noktada özellikle 1950’li yıllarda Maslow’un insan ihtiyaçlarını merkeze alan model önerisi ile 1970’li yıllara ABD’de "Sosyal Göstergeler Araştırmaları" yaşam kalitesi temeline dayalı akademik anlamda yapılan çalışmaların dayanağını oluşturmuştur (On Birinci Kalkınma Planı Kentsel Yaşam Kalitesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2018). Mevcut literatüre yönelik olarak; Scopus veri tabanı özelinde kentsel yaşam kalitesi çalışmaları incelendiğinde, 1992 yılından itibaren ilgili yayınların giderek artış göstermekle birlikte; bu çalışmaların sosyal bilimler, sağlık, çevre bilimleri, mühendislik ve psikoloji alanında yoğunlaştığı görülmektedir (Anonim, 2021). Stimson ve Marans (2011) çalışmasında, yaşam kalitesini; ekonomik, sosyal ve çevresel boyut olmak üzere üç temel ölçüt ile ilişkilendirmiştir. Aydıner Boylu ve Paçacıoğlu (2016) da; yaşam kalitesine yönelik olarak ortak bir standart veya göstergeler sisteminin bulunmadığını işaret etmiştir. Bu durum, kentsel yaşam kalitesinin çok boyutlu bir kavram olarak, pek çok alanla ilişkili olduğunu desteklemektedir. Bu çerçevede bu çalışmada ise; kentsel yaşam kalitesi mekânsal boyutu ile, açık yeşil alanlar perspektifinden incelenerek sunulmaktadır. Öyle ki; Brajša-Žganec ve ark. (2011), Mensah ve ark. (2016) ve Tepe (2018)’nin de belirttiği gibi yeşil alanlar ile kentsel yaşam kalitesi arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle de, ilgili çalışmalarda; kentsel alanlardaki yeşil alanlara ilişkin miktar, kalite, erişilebilirlik ve hizmet etki alanı gibi özellikler yaşam kalitesi ile ilişkilendirilmiştir (Korpela, ve ark., 2009; Arnberger ve ark., 2012; Gerçek ve Güven, 2017; Błaszczuk ve ark., 2020; Aly ve Dimitrijevic, 2022). Örneğin, Mensah ve ark. (2016), 452 yayın üzerinde yaptığı tespitler sonucunda; yeşil alanların, sağladığı katkılar ve bireyler üzerindeki iyileştirici etkileri çerçevesinde yeşil alan yaşam kalitesi ilişkisini incelemiştir. Blancarte-Siqueiros ve ark. (2020) da; Meksika’nın Durango kentinde yeşil alanların yoğunluğu, yaşam kalitesi ve aidiyet duygusu arasındaki ilişkiyi analiz ederek, yeşil alanların yoğunluğunun yaşam kalitesini olumlu yönde etkilediğini vurgulamıştır. Hur ve ark. (2010), De Jong ve ark. (2012), Van Herzele ve De Vries (2012)’in çalışmalarında da yeşil alanların varlığı ile memnuniyet düzeyi arasında olumlu ilişkiler saptanmıştır. Zhang ve ark. (2017)’nin 223 kişi üzerinde Hollanda’da yaptığı çalışmasında da; daha erişilebilir ve kullanılabilir yeşil alanlara sahip mahalle sakinlerinin yaşamlarından daha memnun oldukları ortaya konmuştur. Douglas ve ark. (2018)’nin çalışması da bunu destekler nitelikte olup, açık yeşil alan kalitesini destekleyen strateji ve tasarım kararlarının geliştirilmesi gerekliliğine dikkat çekmektedir. Oflaz (2020) da çalışmasında; şehirlerin bunalıcı etkisinden kaçmak isteyen insanların, genel olarak açık yeşil alanları ile akarsu ve göl kenarlarını tercih ettiğini vurgulamıştır (Çam, 2020). Farklı bilim dalları kapsamında yer alan konu ile ilgili çalışmaların pek çoğu da Akpolat ve ark. (2021)’nin da belirttikleri gibi; daha çok öznel göstergelerin kullanılarak kişilerin memnuniyet düzeylerinin ortaya konulduğu çalışmalar olmuştur. Oysaki bu konuda yapılacak çalışmaların nesnel ölçütleri dikkate alan mekânsal boyut çerçevesinde de ele alınması önemli olacaktır. Mekansal çerçevede yapılacak niceliksel değerlendirmelere yönelik

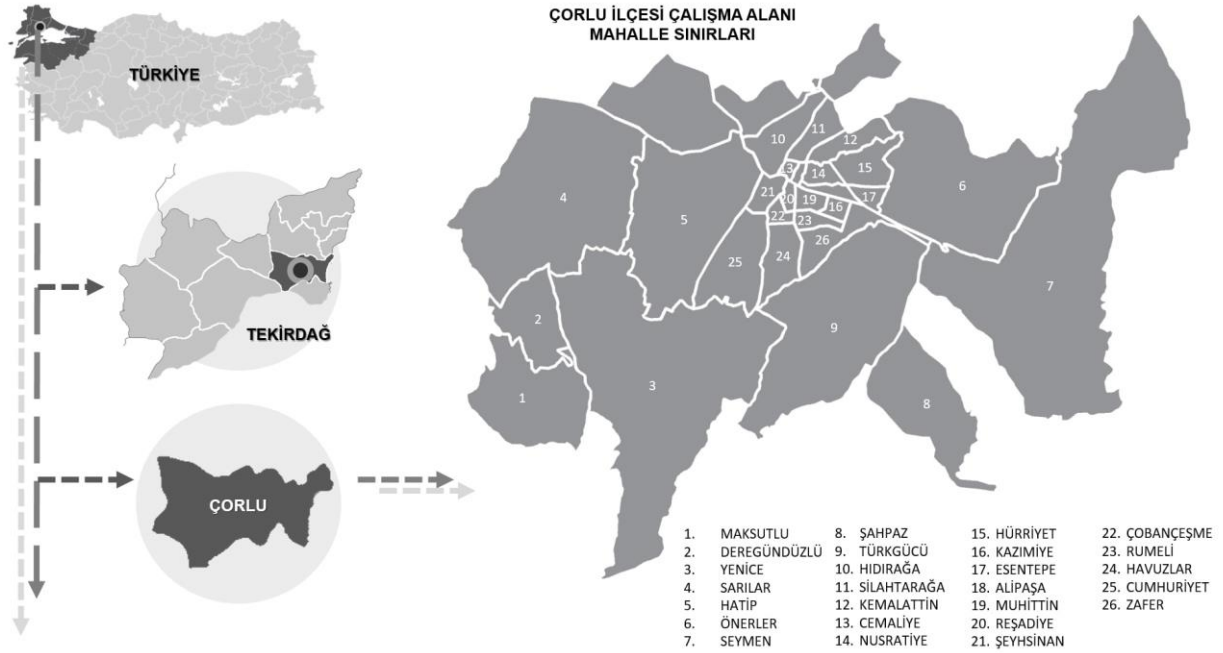
çalışmalar, nesnel bir yaklaşımın özünü oluşturacaktır. Örnek olarak, Cohen ve ark. (2008)'nin çalışmasında; mahalle parklarına erişim düzeyi ile kişilerin memnuniyet düzeyleri arasında pozitif bir ilişki olduğu saptamıştır Bununla birlikte; Grahn ve Stigsdotter (2003), Wai So (2016), Gerçek ve Güven (2017), Zhang (2021) gibi araştırmacılar da yeşil alan erişilebilirlik ilişkisi çerçevesinde niceliksel değerlendirmeler yapmışlardır. İlgili araştırmalarda, yaşam kalitesi çerçevesinde yeşil alanların varlığı kadar erişim durumlarının da önemine dikkat çekilmiştir.

Yukarıda verilen üst ölçek plan yaklaşımları ile mevcut literatür değerlendirmeleri çerçevesinde, çalışmanın temelini; "Ülke kalkınma plan ve stratejileri ile uyumlu olarak kentsel yaşam kalitesi ile yeşil alanlar arasında önemli bir ilişki vardır" hipotezi oluşturmaktadır. Geliştirilen hipotez çerçevesinde, bu çalışmada; Çorlu ilçesi özelinde mekansal anlamda yeşil alanların niceliksel durumunun tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında; "Yeşil alanlar kentsel yaşam kalitesi temelinde neden önemlidir?", "Kentsel yeşil alanlar kentsel yaşam kalitesi çerçevesinde nasıl değerlendirilebilir?" sorularına yanıt aranmıştır. Bu çerçevede; Çorlu İlçesi ve mahalleleri düzeyinde kişi başına düşen yeşil alan miktarı ile eğitim, sağlık, idari, ticaret gibi kentsel alan kullanım durumları, odak noktaları, yapı-açık alan (doluluk-boşluk) durumu ile mahalle ölçeğinde nüfus düzeyleri ve yoğunlukları gözlem, analiz ve değerlendirmelere dayalı olarak ortaya konmuştur. Analizlerden elde edilen veriler çerçevesinde de kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temelinde çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

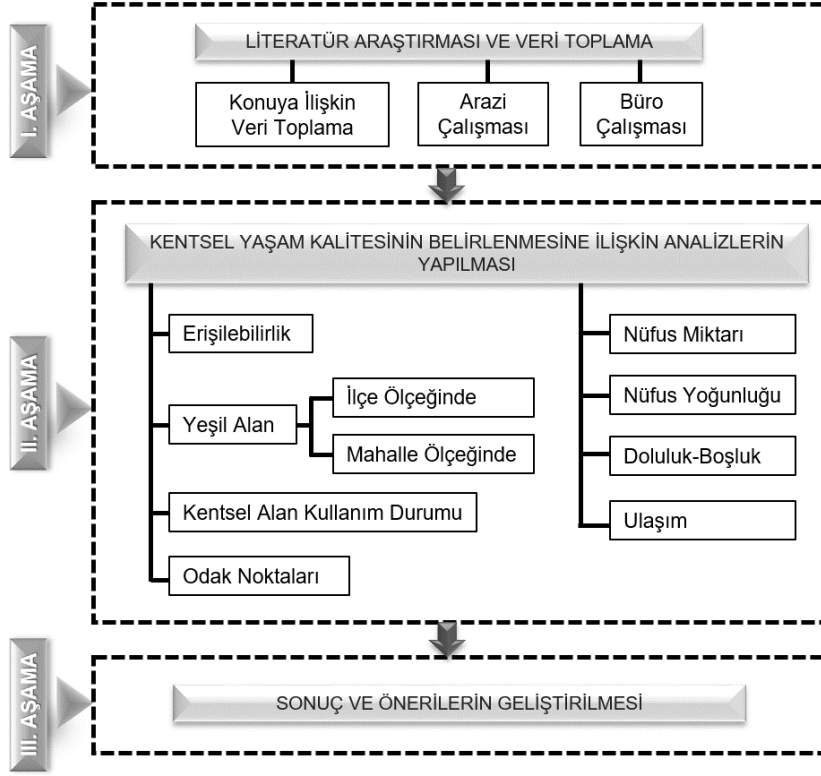
Araştırmanın ana materyalini Tekirdağ İli'ne bağlı 26 mahalleden oluşan Çorlu ilçesi (Şekil 1) oluşturmaktadır. Çorlu, Türkiye'nin kuzeybatı (Trakya) bölgesinde olup, 41° 07' 30'doğu boylamı ile 27°45' 00' kuzey enlemi arasındadır. İlçenin toplam yüzölçümü 409 km² dir (Çorlu Belediyesi, 2021). Nüfusu 270,944 kişidir (TUİK, 2021). Sosyo-ekonomik gelişmişlik açısından Çorlu ülkemizde 1. gelişmişlik kademesinde, ilçe sıralamasında 872 ilçe içinde 24. sırada ve Tekirdağ ilinde ise 1. sırada yer almıştır (SEGE, 2019). İstanbul İl'ine 120 km mesafede yer almaktadır.



Şekil 1. Çorlu ilçesinin Tekirdağ İli içerisindeki konumu ve mahalle sınırları

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında ülke kalkınma plan ve stratejilerinin de öngördüğü hedeflere paralel olarak; geliştirilen yöntem süreci; kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisinin mekansal boyutu ile ele alan bir yaklaşım çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu amaçla Tekirdağ İli Çorlu İlçesi özelinde gözlem, analiz ve değerlendirmelere dayalı olarak harita ve çizelgelerle desteklenen bir yaklaşım ele alınmıştır. Literatür taramaları, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları ile desteklenen veri toplama aşamasının ardından, kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temelinde alan özelinde erişilebilirlik, ulaşım, kentsel alan kullanım durumu, nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı, odak noktaları, yeşil alan durumu ve doluluk boşluk analizi yapılmıştır. Nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı ile yeşil alan durum tespitlerine ilişkin analizler ilçe ve mahalle düzeyinde ortaya konmuştur. Yöntem sürecine ilişkin aşamalar Şekil 2' de verilmiş olup, aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır. İlgili yöntem süreci amaca uygun olup, birbiri ile uyumlu ve tamamlayıcı niteliktedir.



Şekil 2. Çalışmaya İlişkin yöntem akış şeması

- 1. Aşama (Literatür Araştırması ve Veri Toplama)

Bu aşama kendi içerisinde üç adımda gerçekleştirilmiştir. İlgili adımlar, çalışmanın genel kurgusu ve yöntem sürecinin temelini oluşturmaktadır.

Konuya ilişkin literatür taraması: Bu aşama; yaşam kalitesi ve kentsel yaşam kalitesi kavramları, yaşam kalitesi temelli yaklaşımlar, kentsel yaşam kalitesinin ölçülmesine yönelik geliştirilen ulusal ve uluslararası düzeydeki çalışmaların incelenmesi, kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisinin ele alındığı akademik düzeydeki çalışmaların incelenmesi ile ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilen harita, plan ve raporlardan elde edilen çıkarımlara ilişkin irdelemeleri içermektedir.

Arazi çalışmaları: Bu aşama, yeşil alan durum tespitleri ile görsel materyallerin temini için farklı dönemlerde yapılan saha çalışmalarını içermektedir.

Büro çalışmaları: Bu aşama; 1/5000 Nazım İmar Planı ve 1/1000 Uygulama İmar Planı paftalarından yararlanılarak kentsel yaşam kalitesinin belirlenmesine yönelik durum tespitleri için Photoshop, Autocad ve Arc GIS programları kullanılarak ilgili haritaların üretildiği süreçtir. Aynı zamanda ilgili haritaların üretilmesinde Google Earth görüntülerinden de yararlanılmıştır.

- 2. Aşama (Kentsel Yaşam Kalitesinin Belirlenmesine İlişkin Analizlerin Yapılması)

Bu aşama, üst ölçekte alan özelinde kentsel yaşam kalitesinin belirleyicisi olabilecek özelliklere ilişkin birtakım analiz ve değerlendirmelerin yapıldığı süreci içermektedir. Bu aşamadan elde edilen veriler kentsel yaşam kalitesi-yeşil alan ilişkisi temelinde çeşitli önerilerin geliştirilmesinde belirleyici olmuştur. Bu kapsamda; veri toplama aşamasında elde edilen veriler, Photoshop, Autocad ve Arc GIS

programları kullanılarak alan özelinde konusal haritalara (erişilebilirlik, yeşil alan durum analizi, kentsel alan kullanım durumu, odak noktaları, nüfus miktarı, nüfus yoğunluğu, doluluk-boşluk durumu ve ulaşım durumu) (Tablo 1) dönüştürülmesi sürecini içermektedir. Keza ilgili başlıklar yaşam kalitesinin önemli bileşenidirler (OAL Dictionary,1995; Ercan ve Belge, 2017). Öyle ki; Rogerson, (1999)'un araştırmasında belirttiği, kentsel yaşam kalitesi temelli farklı yıllardaki 36 adet çalışmada yer alan göstergeler incelendiğinde; ulaşım ve yeşil alana dair ölçütlerin de ortak olarak yer aldığı saptanmıştır. Çalışmada kullanılan her bir gösterge ulusal ve uluslararası alanda ilgili literatürle desteklenecek şekilde geliştirilerek ele alınmıştır.

Tablo 1. Kentsel Yaşam Kalitesinin Belirlenmesinde kullanılan konusal haritalara ilişkin genel çerçeve

| Gösterge | Veri kaynağı | Sonuç ürünü | Kaynak |
|------------------------------|---|--|---|
| Erişilebilirlik | 1/1000 ölçekli uygulama imar plan ve raporları | Parklara erişim | Yıldızcı (1982), Bakan ve Konuk (1987), Türel (1988), Kursten (1993), Polat (2000), Aydemir (2000), Gül ve Küçük (2001), Polat (2002), Grahn ve Stigsdotter, (2003); Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği, (2007); PPS (2007) Onsekiz ve Emür (2008), Coşaner ve ark. (2014), Wai So (2016); Gerçek ve Güven (2017), Zhang (2021) |
| Yeşil alan | | İlçe ve mahalle düzeyinde kişi başına düşen aktif yeşil alan miktarı, yeşil alan durum paftası | Hancock (1999), Tepe (2018), Öztürk ve ark. (2019) |
| Kentsel alan kullanım durumu | | Sanayi alanları, konut yerleşme alanları, ticaret alanları, eğitim tesisleri alanları, kültürel alanlar, sağlık alanları | Acarlı ve ark. (2018), Neğiş ve ark. (2021) |
| Odak noktaları | | Alışveriş merkezleri, eğitim alanları, meydan, havaalanı, sanayi, otopark ve belediye vb. | Lynch (2010), Acarlı ve ark. (2018), Eren (2020), Neğiş ve ark. (2021) |
| Nüfus miktarı | DİE, TÜİK nüfus verileri, ilçe ve mahalle yozölçümü | İlçe ve mahalle düzeyinde nüfus miktarı | |
| Nüfus Yoğ. | | İlçe ve mahalle düzeyinde km ² başına düşen kişi sayısı | TÜBA (2010), SEGE (2019), Evcil (2017), Sarı ve Kındap (2018), Sarı (2019) |
| Doluluk – boşluk durumu | 1/1000 uygulama imar plan ve raporları | Mevcut doluluk-boşluk durumu, imar plan durumuna göre doluluk-boşluk durumu | Acarlı ve ark. (2018), Eren (2020), Neğiş ve ark. (2021) |
| Ulaşım | | I. ve II. öncelikli yollar | PPS (2007), Emür ve Onsekiz, (2007), Başalma (2014), Evcil (2017), Sarı (2019), Eren (2020) |

- 3. Aşama (Sonuç ve Önerilerin Geliştirilmesi)

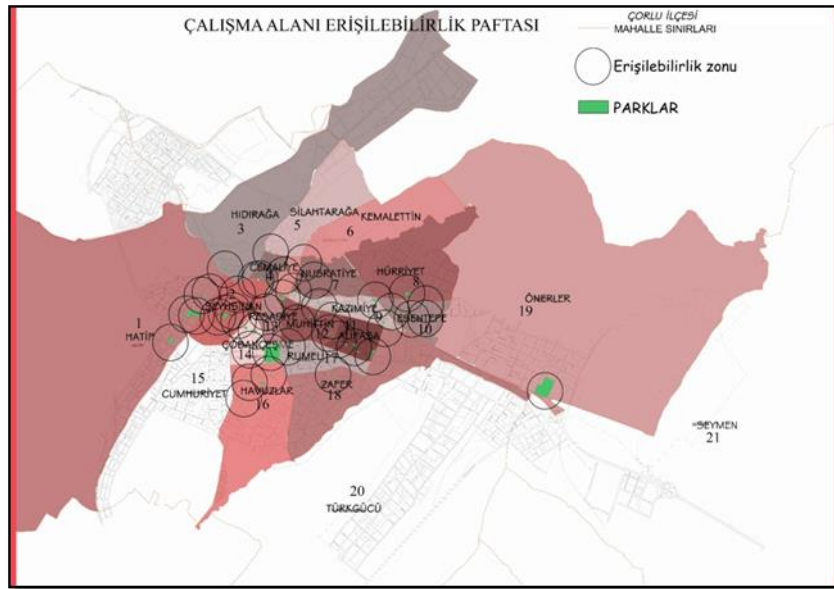
Bu aşama; ilk iki aşamadan elde edilen verilerin değerlendirilerek, kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi özelinde çeşitli önerilerin geliştirildiği süreci içermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu başlık altında, yöntem bölümünde verilen ilgili analizlere ilişkin bilgi ve tespitler yer almaktadır.

3.1. Çalışma Alanı Erişilebilirlik Durumu

Erişilebilirlik, kentsel yaşam kalitesi göstergeleri çerçevesinde ele alınması gereken önemli bir ölçüttür. Özellikle de yeşil alan yaşam kalitesi ilişkisinde bireylerin yeşil alanlara erişimi belirleyici bir niteliktedir. İlgili araştırmalarda (yöntem bölümünde verilmiştir), yaşam kalitesi çerçevesinde yeşil alanların varlığı kadar erişim durumlarının da önemine dikkat çekilmiştir. Bu kapsamda, çalışmada aktif yeşil alan olarak belirlenen park alanlarına erişim durumları ortaya konmuştur. Erişim mesafesi olarak, park sınırlarından itibaren yürünebilirlik ölçütü dikkate alınarak 800 m'lik zonlar oluşturulmuştur (Şekil 3). Bu kapsamda Çorlu ilçesi sınırları içerisinde bulunan parkların erişilebilirlik durumları analiz edilmiştir.



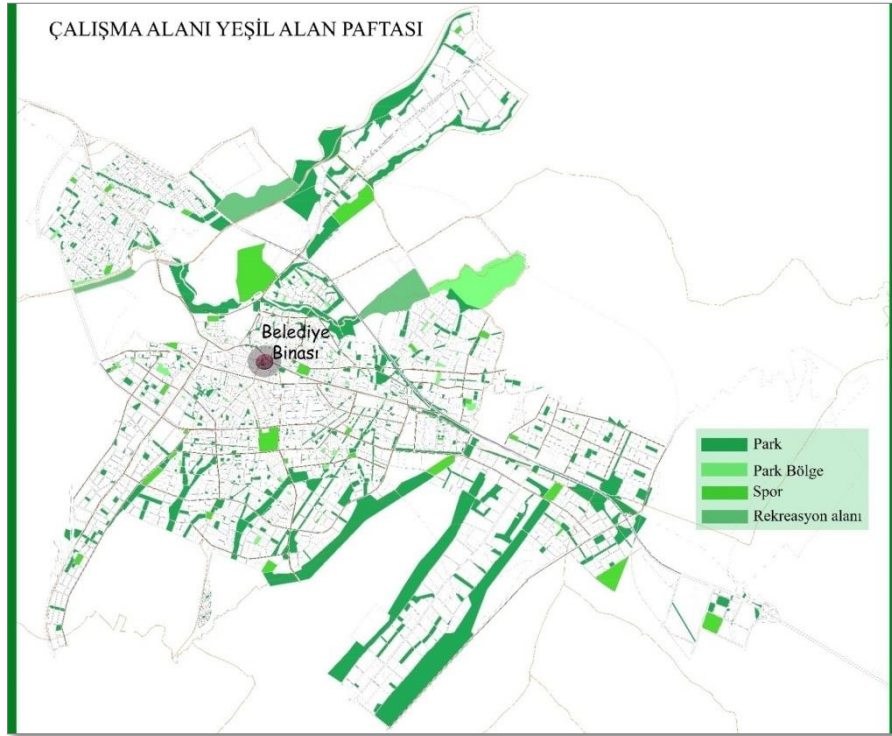
Şekil 3. Çorlu İlçesi mevcut parkların erişilebilirlik analiz paftası

Şekil 3 incelendiğinde; Çorlu ilçe sınırları içerisinde bulunan parklarının tümünün erişilebilirlik kriterini sağlayamadığı, daha çok şehir merkezine yakın alanlarda kümelendiği görülmüştür. Cemaliye Mahallesi, Nusratiye Mahallesi, Kazımiye Mahallesi, Şeyhsinan Mahallesi, Reşadiye Mahallesi, Muhittin Mahallesi, Alipaşa Mahallesi, Çobançeşme Mahallesi, Kemalettin Mahallesi ve Esentepe Mahallesi'ndeki parklara ulaşım yürüme mesafesindedir. Bunun yanında; Havuzlar Mahallesi, Zafer Mahallesi, Önerler Mahallesi, Hatip Mahallesi, Hürriyet Mahallesi, Silahtarağa Mahallesi, Rumeli Mahallesi ve Hıdırağa Mahallesi'ndeki parklara ulaşım yürüme mesafesinde karşılanamamaktadır. Bu durum mahalleler özelinde yer alan park alanlarının dengeli bir dağılım içinde olmadığını göstermektedir. Gerçek ve Güven (2017)'in çalışmasında da benzer bir sonuç çıkmıştır.

3.2. Çalışma Alanı Yeşil Alan Durumu

Çalışma alanı özelinde mevcut yeşil alan durumuna ilişkin tespitler; 1/1000'lik Uygulama İmar Planı ile Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği çerçevesinde ele alınan standart ölçütler (aktif yeşil alan 10

m²/kişi) baz alınarak yapılmıştır. İlgili analizler, çalışma alanı özelinde aktif yeşil alanların mekânsal dağılımı ve yeterliliğine ilişkin tespitler yapılmasını sağlamıştır. Bu kapsamda, Çorlu ilçesi içerisinde mevcutta yer alan ve 1/1000’lik Uygulama İmar Planı çerçevesinde öngörülen aktif yeşil alanların (spor alanları, park alanları, bölge parkları) alansal olarak yer aldığı yeşil alan paftası hazırlanmıştır (Şekil 4). Buna göre, mevcutta bulunan park alanları daha çok ilçenin merkezinde parçalı olarak yer almaktadır. Buna karşın imar planı çerçevesinde ise; park alanlarının ilçenin güney batı ve kuzey doğu bölümlerinde çizgisel bir koridor şeklinde yoğunlaştığı saptanmıştır. Bu durum, fiziksel, görsel ve çevresel anlamda önemli katkılar sağlayacak olup, yaşam kalitesini de olumlu yönde etkileyecektir.



Şekil 4. Çorlu İlçesi yeşil alan paftası

Yukarıda harita kapsamında verilen, çalışma alanının 1/1000’lik Uygulama İmar Planı’nda öngörülen ve mevcut olan aktif yeşil alan (spor alanları, park alanları, bölge parkları vd.) varlığına ilişkin mekânsal tespitlerin yanı sıra, 2019 nüfus verileri dikkate alınarak kişi başına düşen yeşil alan miktarı da incelenmiştir. Kişi başına düşen yeşil alan miktarı; ilçe ve 26 mahalle düzeyinde yapılmıştır. Çorlu İlçesinde her mahallede bulunan aktif yeşil alanların toplam m² değerlerinin tüm nüfusa oranlanması sonucunda kişi başına düşen yeşil alan miktarı 2,36 m² olarak tespit edilmiştir. Bu durum ilçe düzeyinde Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği çerçevesinde ele alınan standart ölçütün (aktif yeşil alan 10 m²/kişi) sağlanmadığını göstermektedir. Mahalle ölçeğinde yapılan değerlendirme sonucunda ise; homojen bir dağılım olmamakla birlikte, Önerler Mahallesi en yüksek aktif yeşil alan

değerlerine sahipken, Reşadiye Mahallesi'nde ise en düşük aktif yeşil alan miktarına sahip olmuştur. Bununla birlikte sadece Çobançeşme ve Önerler Mahalleleri 10 m²/kişi standardını sağlamıştır (Tablo 2). Bu durum, ilçe ve mahalle düzeyinde bulunan yeşil alanların ilgili yönetmelikte belirtilen standart değerleri niceliksel olarak karşılamadığını göstermektedir.

Tablo 2. Çalışma alanı İlçe ve mahalle düzeyinde kişi başına düşen aktif yeşil alan miktarının değerlendirilmesi

| No | Mahalle Adı | Nüfus | Yeşil alan miktarı (m ²) | No | Mahalle Adı | Nüfus | Yeşil alan miktarı (m ²) |
|---|---------------------------|----------------|---|-----------------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------------|
| 1 | Kazımiye Mahallesi | 10965 | 3,52 | 10 | Hatip Mahallesi | 4331 | 7,05 |
| 2 | Şeyhsinan Mahallesi | 39382 | 0,95 | 11 | Zafer Mahallesi | 7381 | 2,58 |
| 3 | Çobançeşme Mahallesi | 13814 | 13,25 | 12 | Cemaliye Mahallesi | 9022 | 0,60 |
| 4 | Muhittin Mahallesi | 38443 | 0,61 | 13 | Hürriyet Mahallesi | 11129 | 2,01 |
| 5 | Nusratiye Mahallesi | 19887 | 1,70 | 14 | Reşadiye Mahallesi | 34868 | 0,03 |
| 6 | Kemalettin Mahallesi | 16183 | 0,11 | 15 | Silahtar Mahallesi | 3292 | 0,73 |
| 7 | Alipaşa Mahallesi | 10135 | 4,33 | 16 | Rumeli Mahallesi | 9527 | 0,86 |
| 8 | Havuzlar Mahallesi | 10532 | 2,21 | 17 | Hıdırağa Mahallesi | 8775 | 0,36 |
| 9 | Esentepe Mahallesi | 14009 | 1,37 | 18 | Önerler Mahallesi | 3896 | 34,06 |
| **2012 yılında Büyükşehir Yasası kapsamında köyler mahalleye dönüşmüştür. Bu kapsamda ilgili süreçte yapılması planlanan parklar olduğundan dolayı kapsam dışı bırakılmıştır. | | | | | | | |
| | Mahalle Adı | Nüfus | Mahalle Adı | Nüfus | Mahalle Adı | Nüfus | |
| | **Deregündüz lü Mahallesi | 126 | **Seymen Mahallesi | 1000 | **Yenice Mahallesi | 1635 | |
| | **Maksutlu Mahallesi | 73 | **Şahbaz Mahallesi | 492 | **Cumhuriyet Mahallesi | 670 | |
| | **Sarılar Mahallesi | 385 | **Türkgücü Mahallesi | 989 | | | |
| | TOPLAM (nüfus) | 270.944 | TOPLAM | 638.918,85 (m²) | | | |
| | | | Kişi başına düşen aktif yeşil alan miktarı (m²) | 2,36 | | | |

3.3. Çalışma Alanı Kentsel Alan Kullanım Durumu

Bu bölüm, yaşam kalitesinin önemli bir bileşeni olan arazi kullanımlarına yönelik hizmet alanlarının genel durum tespitini içermektedir. Kentsel alan kullanım durumuna ilişkin tespitler, OECD, MERCER gibi uluslararası çalışmalarda da yaşam kalitesi göstergeleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu kapsamda, 1/5000 ve 1/1000 ölçekli İmar Planı paftalarından yararlanılarak hazırlanan Çorlu İlçe paftası üzerinde; parklar, dini yapılar,

belediye binası, alışveriş merkezleri, otogar ve sanayi alanı merkezi konuma yakın mesafede bulunmakta olup, havaalanı ve üniversite yerleşkesi şehrin dışında kümelenmiştir. Şehrin merkezi konumunda bulunan Belediye ile Otogar birbirlerine 800 m'lik erişim mesafesindedir. Alışveriş merkezleri, küçük sanayi alanları ve havaalanı ise İstanbul istikameti doğrultusunda çizgisel bir hat boyunca süreklilik göstermektedir. Alışveriş merkezleri ise yan yana konumlanmaktadır. Havaalanı ve üniversite yerleşkesi şehrin dışında kümelenmiştir.



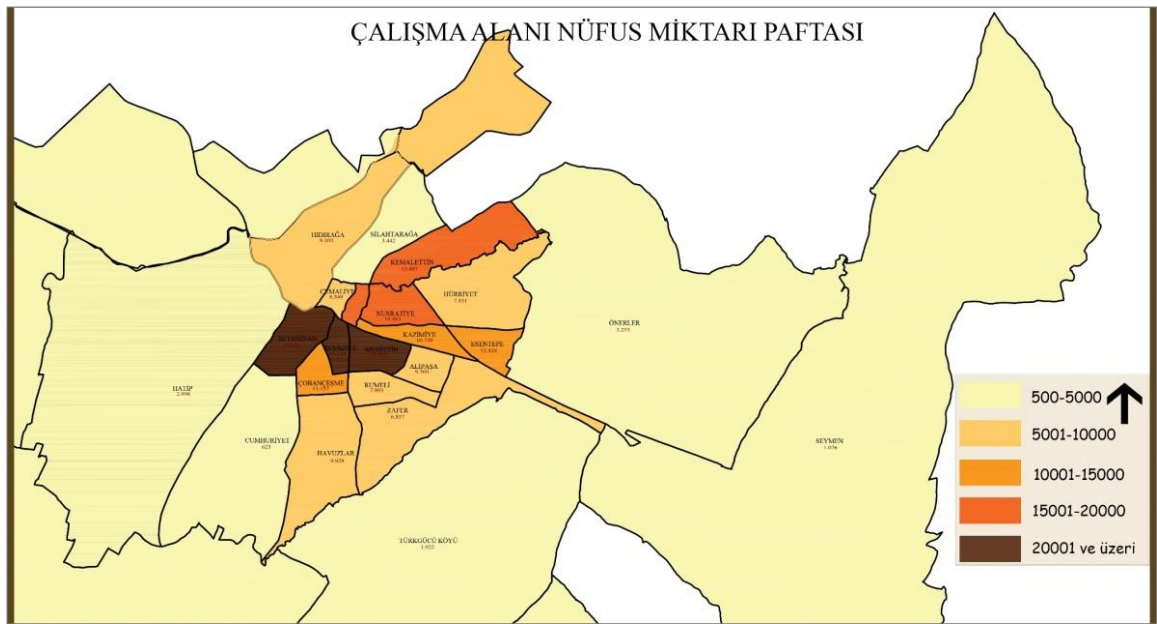
Şekil 6. Çorlu İlçesi odak noktaları paftası

3.5. Çalışma Alanı Nüfus Miktarına İlişkin Tespitler

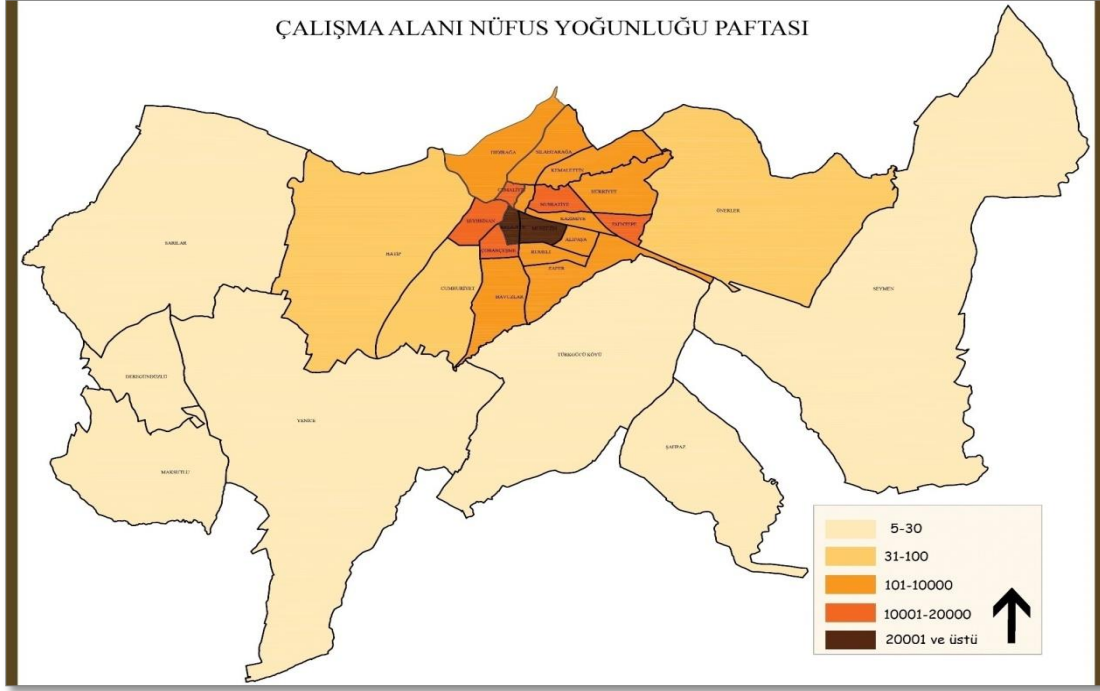
Yaşam kalite odaklı yaklaşımların ana ekseninde insan ve toplum yer almaktadır. Memnuniyet durumu, hizmetlere erişim, kişi başına düşen yeşil alan miktarı, sosyo-ekonomik gelişmişlik gibi ölçütlerin değerlendirilmesinin odağında da insan yer almaktadır. Dolayısıyla nüfus miktarı kentsel yaşam kalitesinde önemli bir araçtır. Bu amaçla, 2019 yılı Çorlu mahallelerine ilişkin nüfus ölçütleri dikkate alınarak 500-5000 değerinden başlayarak 5001-10000, 10001-15000, 15001-20000 ile 20001 ve üzeri olmak üzere belirlenen değerler doğrultusunda bir harita oluşturulmuştur (Şekil 7). Oluşturulan harita, mahallelerdeki nüfus miktarlarının mekânsal bazda karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Buna göre; nüfusun şehir merkezi ve yakın çevresinde kümeleniği görülmektedir. Nüfusu en yüksek olan şehir merkezinin konumunda yer alan mahalleler; Şeyhsinan, Muhittin, Reşadiye mahalleri olmuştur. En az nüfusa sahip alanlar ise Büyükşehir Yasası itibariyle köy statüsünden mahalle statüsüne geçen Yenice, Seymen, Türkgücü, Cumhuriyet, Şahpaz, Sarılar, Deregündüzlü, Maksutlu mahalleleri olmuştur.

3.6. Çalışma Alanı Nüfus Yoğunluğuna İlişkin Tespitler

Kentsel yaşam kalitesi yaklaşımlarında nüfus miktarı kadar, km² başına düşen kişi sayısı (nüfus yoğunluğu) da önemli bir değişken olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda; km² başına düşen en düşük 5-30 olmakla birlikte, 31-100, 101-10000, 10001-20000 ile 20000 ve üstü olmak üzere belirlenen değerler doğrultusunda haritalanarak Şekil 8' de gösterilmiştir. Çorlu ilçesi nüfus yoğunluğunun daha çok şehir merkezinde yoğunlaştığı görülmekte olup, kademeli olarak dış çepere doğru azaldığı görülmektedir. Nüfus yoğunluğu en yüksek olan mahalleler; Muhittin ve Reşadiye mahalleleridir. Nüfus yoğunluğunun en az olduğu mahalleler ise büyükşehir yasası ile köy statüsünden mahalle statüsüne geçen alanlar olan, Sarılar, Deregündüzlü, Maksutlu, Yenice, Seymen, Şahpaz ve Türkgücü Mahalleridir.



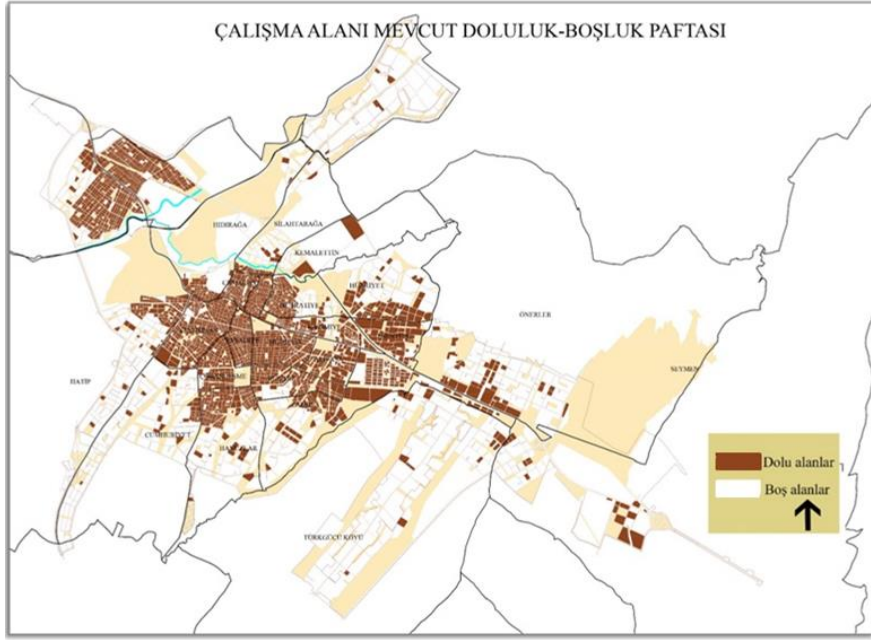
Şekil 7. Çorlu İlçesi nüfus miktarı paftası



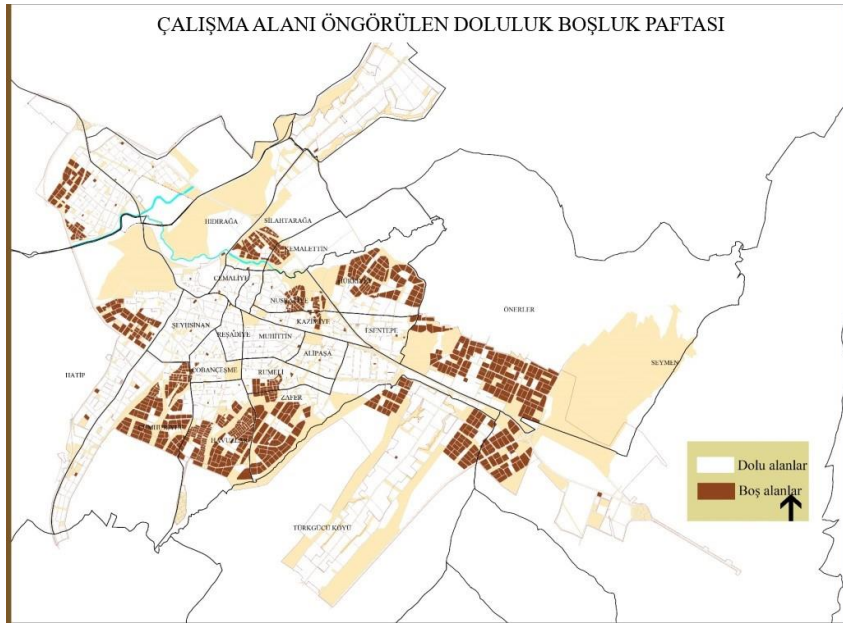
Şekil 8. Çorlu İlçesi nüfus yoğunluğu paftası

3.7. Çalışma Alanı Doluluk-Boşluk Durumu

Mekan kalitesine yönelik yapılan çalışmalarda; yapısal alan ve açıklıkların durumları ortaya konmakta olup, yapılaşma yoğunluğu belirlenmektedir (Eren, 2020; Acarlı ve ark., 2018; Neğiş ve ark., 2021). Bu kapsamda, mevcut ve 1/1000 Uygulama İmar Planı paftasında öngörülen doluluk-boşluk durumuna ilişkin harita oluşturulmuştur. Mevcut durum için hazırlanan paftada yapılaşmanın kent merkezi ekseninde yoğunlaştığı görülürken (Şekil 9), planlanan imar durum paftasında ise yapılaşmanın kent dış çeperine doğru yönlendiği (Şekil 10) saptanmıştır. Mevcut doluluk-boşluk durum paftasında görülen kentin iç çeperinde kümelenen ticaret aksı ile birlikte yoğun yapılaşma, açık ve yeşil alanların azalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 9. Çorlu İlçesi mevcut doluluk-boşluk paftası

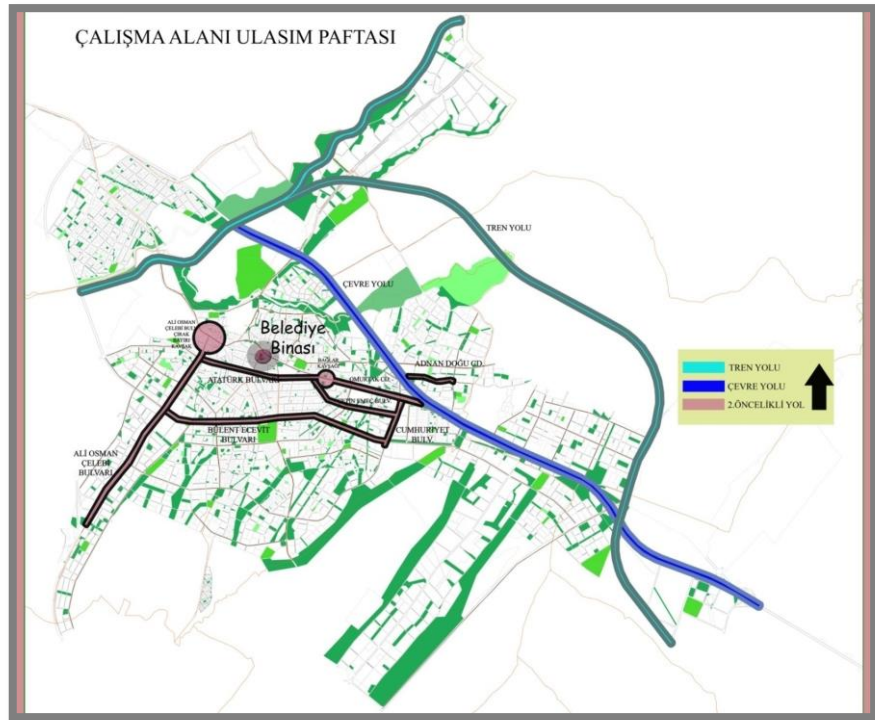


Şekil 10. Çorlu İlçesi öngörülen doluluk-boşluk paftası

Çorlu ilçesi mevcut doluluk-boşluk durumuna ilişkin Şekil 9 incelendiğinde, kahverengi renk ile belirtilen alanlar mevcutta ilçede kullanılan yapısal alanları ifade ederken, beyaz renk ile belirtilen taramalar yapılaşmanın olmadığı kısımları ifade etmektedir. Bununla birlikte; ilçeye ilişkin olarak, 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planı çerçevesinde öngörülen doluluk boşluk durum haritası incelendiğinde ise, kahverengi renk ile belirtilen alanların ileride yapılaşmaya açılacağını göstermektedir. Bu durum, ileride İlçenin kuzey doğu ve güney batısında yer alan uç kısımlar haricinde büyük bir bölümünün yapılaşmaya açılacağını göstermektedir.

3.8. Çalışma Alanı Ulaşım Durumu

Yaşam kalitesi bileşenleri çerçevesinde ele alınan bir diğer ölçüt olarak ulaşım durumu dikkate alınmıştır. Ulaşıma ilişkin olarak, trafik yoğunluğu dikkate alınarak, çevre yolu bağlantısı (1.derece yol), büyükşehir belediye sorumluluğundaki ana yollar (2.derece yollar) çerçevesinde bir harita hazırlanmıştır (Şekil 11). Tekirdağ İli' Çorlu İlçesi'nin Tekirdağ, Kırklareli-Lüleburgaz ve İstanbul ile yol bağlantıları bulunmaktadır. Birinci derece yol güzergâhı Çevre yolu üzerinde geçişin sağlanması sanayi-lojistik ağırlıklı bir kent için önem arz etmektedir. Çorlu- Çerkezköy yolu üzerinden geçen çevre yolu Çorlu ilçe sınırlarından geçerek İstanbul'a bağlanmaktadır.



Şekil 11. Çorlu İlçesi ulaşım paftası

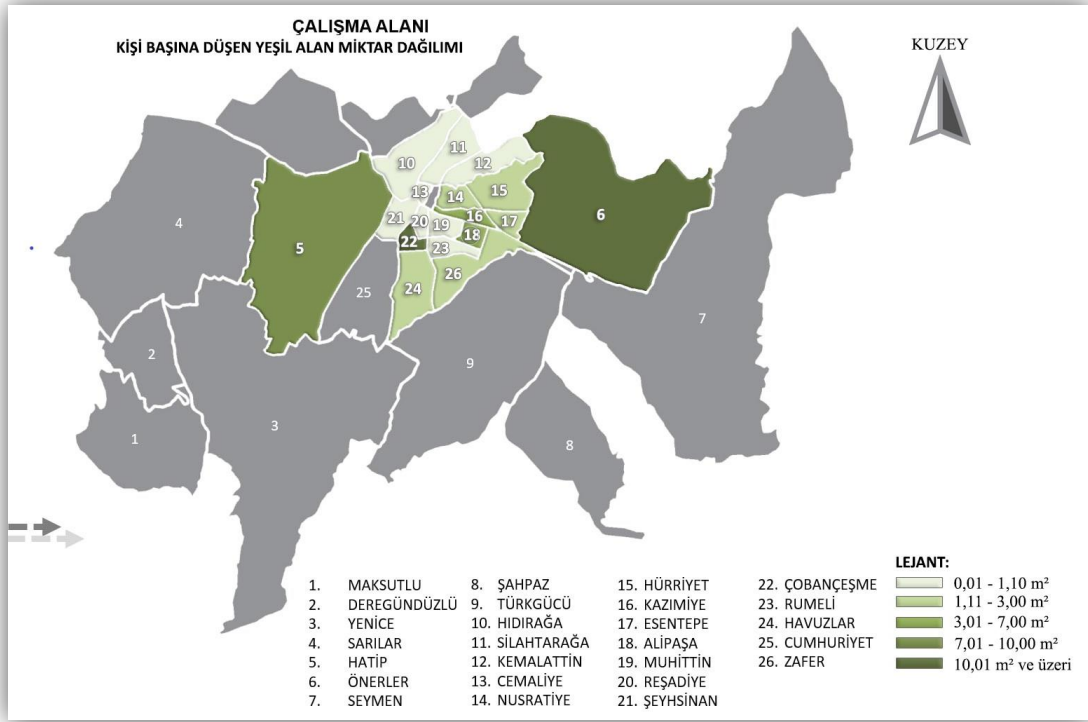
4. Sonuç

Ülke kalkınma plan ve stratejileri ile birlikte akademik alanda yapılan birçok çalışma ve politika yaklaşımlarında kentsel yaşam kalitesinin gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Keza kentsel yaşam kalitesi; sosyal, ekonomik, ekolojik ve görsel olmak üzere çok geniş bir boyutu içermektedir. Dolayısıyla da, kentsel yaşam kalitesine ilişkin çalışmalar, farklı bilim dalları tarafından çeşitli şekillerde ele alınmış ve her bir bilim dalı özelinde gösterge ve yöntem süreci geliştirilmiştir. Bu durum sonucunda da; Aydınır Boylu ve Paçacıoğlu (2016) ile Sarı ve Kındap (2018)'in da ifade ettiği gibi yaşam kalitesinin ölçülmesinde kullanılabilir ortak bir gösterge seti henüz geliştirilememiştir. Yaşam kalitesine yönelik ortak bir gösterge setinin geliştirilememesinde; kentlerin doğal ve kültürel değerleri açısından farklılıklar göstermesi ve Akpolat ve ark. (2021)'nın bahsettiği gibi; kentlerde yaşayan kişilerin de memnuniyet düzeylerinin değişken olması etken olabilir. Bununla birlikte; Ülkemizde ve dünyanın farklı ülkelerinde farklı yaklaşımlar olsa da kentsel yaşam kalitesi ekseninde gösterge ve ölçütler arasında benzerlikler olduğu da yadsınamazdır. Bu çalışmada ise; kentsel yaşam kalitesi, yeşil alanlar perspektifinden mekânsal olarak incelenmiştir. Çalışmaya ilişkin genel değerlendirmeler aşağıda maddeler şeklinde sunulmuştur.

- Bu çalışma, kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temeline dayandırılmıştır. Brajša-Žganec ve ark. (2011), Mensah ve ark. (2016), Tepe (2018), Błaszczuk ve ark. (2020) ile Aly ve Dimitrijevic (2022)'in çalışmaları bunu destekler niteliktedir.
- Çalışma kapsamında niceliksel (yeşil alan ve nüfus değerlendirmelerine ilişkin) verilere ilişkin değerlendirilmeler yapılmıştır. Öztürk ve ark. (2016) ve Tepe (2018)'nin çalışmaları bunu desteklemektedir. Van Leeuwen ve ark. (2003) da; kentsel yaşam kalitesi ile yeşil alan ilişkisinin belirlenmesinde, kentsel yeşilin niceliği ve kalitesine yönelik bilgilerin gerekliliğine dikkat çekmiştir.
- İlçe ve mahalleler düzeyinde değerlendirmeler yapılmıştır. Bu durum, çalışmanın uygulanabilirliğine katkı sağlayacaktır. Keza Salihoğlu ve Türkoğlu (2019); kentsel yaşam kalitesine ilişkin çalışmalarda alt ölçekten başlayarak ölçeğin genişletilmesi gerekliliğine vurgu yapmıştır. Sarı ve Kındap (2018)'in kentsel yaşam kalitesi göstergeleri çerçevesinde kullanılan verilerin mahalle birimi bazında ele alınmasına ilişkin olarak 28 çalışma sonuçlarını vurguladığı araştırması da bunu destekler niteliktedir.
- Çalışma; gözlem, analiz ve değerlendirmelere dayalı olarak harita ve çizelgelerle desteklenen bir yaklaşım doğrultusunda geliştirilmiştir.
- Kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi mekânsal yaklaşımla nesnel ölçütler çerçevesinde (Kentsel yaşam kalitesinin belirlenmesine ilişkin analizler) ele alınmıştır. Bu kapsamda, yeşil alanlar; büyüklük, konum, erişilebilirlik ve kişi başına düşen aktif yeşil alan miktarı açısından değerlendirilmiştir. Bu durum, Korpela, ve ark. (2009), Arnberger ve ark. (2012), Gerçek ve Güven (2017), Błaszczuk ve ark. (2020) ile Aly ve Dimitrijevic (2022)'in çalışmalarını destekler niteliktedir.

İlgili analizler sonucu elde edilen verilere ilişkin genel değerlendirmeler de aşağıda maddelenmiştir.

- Çorlu İlçesinde kişi başına düşen yeşil alan miktarı 2,36 m² olarak tespit edilmiştir. Toplam 26 adet mahalle kapsamında yapılan değerlendirmelerde ise 2 adet mahalle (Önerler ve Çobançeşme Mahallesi) dışındaki diğer mahallelerde kişi başına düşen yeşil alan miktarı ilçe düzeyinde olduğu gibi standart ölçütlerin altında kalmıştır (Şekil 12). Yeşil alan varlığı ile yaşam kalitesi arasında pozitif bir ilişki varsayımı dikkate alındığında; bu durum, bireylerin iyi olma halini olumsuz yönde etkileyebilecektir. Keza; Hur ve ark. (2010), De Jong ve ark. (2012), Van Herzele ve De Vries (2012) ile Blancarte-Siqueiros ve ark. (2020)'nin çalışmaları bunu destekler niteliktedir.

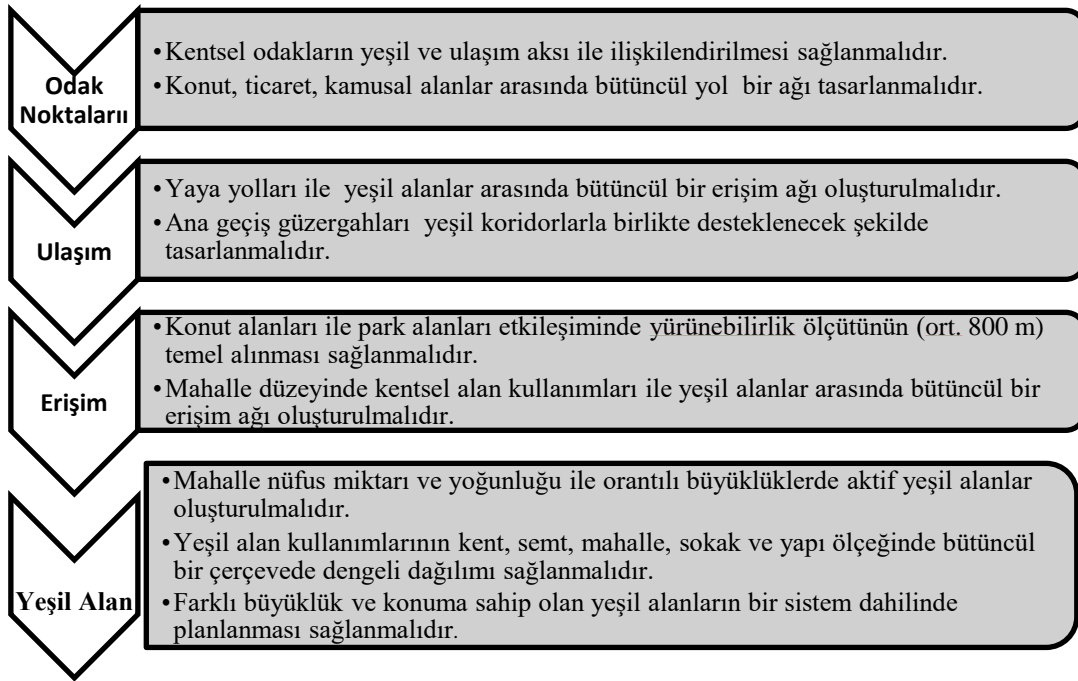


Şekil 12. Çorlu İlçesi kişi başına düşen yeşil alan miktarı dağılımı

- Aynı zamanda yeşil alanlar homojen bir dağılım göstermemekte olup, erişilebilirlik açısından değerlendirildiğinde kent merkezine doğru bir yoğunlaşma görülmektedir. Bu durum kişilerin aktif yeşil alanlardan daha az yararlandığını göstermekle birlikte, yaşam kalitesinin zayıflamasına etken olabilir. Öyle ki; Zhang ve ark. (2017)'nin çalışmasında; erişilebilir ve kullanılabilir yeşil alan varlığı ile mahalle memnuniyeti arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiştir.
- Nüfus miktarı ve yoğunluğu kent merkezinde artış göstermekte olup, nüfus yoğunluğu kent merkezinden kademeli olarak kent sınırına doğru azalış eğilimindedir. Nüfus yoğunluğu ile yaşam kalitesi arasındaki ilişki irdelendiğinde bu durum dikkate alınmalıdır. Öyle ki; Fassio ve ark. (2013)'nin çalışmasında; düşük yoğunluklu yerlerde yaşayan insanların çevresel yaşam kalitelerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

- Çorlu İlçesi sınırlarında bulunan birinci ve ikinci öncelikli yollar kentin ana geçiş güzergâhlarını sağlamaktadır. Çorlu- Çerkezköy yolu üzerinden geçen çevre yolu Çorlu ilçe sınırlarından geçerek İstanbul'a bağlanmaktadır. İkinci öncelikli yollar ise; Çorlu ilçesinde kullanılan ana geçiş güzergâhları olup şehir içerisinde planlı bir ağ şeklindedir. Bu durum kişilerin yaşamlarını kolaylaştıracak etkiler yaratacaktır.
- Konut yerleşimleri ile ticaret alanları daha çok kentin iç çeperinde yoğunlaşırken, sanayi alanları ilçenin kuzey ve güney istikameti doğrultusunda gelişim göstermektedir. Yapılaşmanın kent merkezi ekseninde yoğunlaşması da açık alan yayılımını engellemiştir.

Çalışma kapsamında tespit edilen bulgular doğrultusunda kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temelinde nesnel ölçütlere dayalı olarak bazı genel öneriler geliştirilmiş olup, aşağıda şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Kentsel yaşam kalitesi yeşil alan ilişkisi temelinde nesnel ölçütlere dayalı öneriler

Sonuç olarak, yeşil alanlar yaşam kalitesinin önemli bir bileşeni olup, ikisi arasında pozitif bir ilişki vardır. Bu durum, kentsel yaşam kalitesi ölçütlerinin yeşil alanlar ölçeğinde mekânsal düzeyde uygulanabilirliğini destekleyen yaklaşımlar ve stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yürütülen Doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Kaynakça

- Acarlı B., Kiper T., Korkut A. Kent meydanlarının fiziksel mekan kalitesi: İstanbul Taksim Meydanı ve yakın çevre. *Kent Akademisi* 2018; 11(33): 29-41.
- Akpolat Y., Kokalan Cimrin F., Çalışkan A. Kentsel yaşam kalitesi ölçümlerinde kavramsal değerlendirmeler ve boyut önerileri. *Journal of Economy Culture and Society* 2021; 64: 313-333.
- Aly D., Dimitrijevic B. Public green space quantity and distribution in Cairo, Egypt. *Journal of Engineering and Applied Science* 2022; 69(15): 2-23.
- Anonim. Scopus veri tabanı. scopus.com/results/results.uri?src=s&st1=&st2, 2021.
- Arnberger A., Eder R. The influence of green space on community attachment of urban and suburban residents. *Urban For. Urban Green* 2012; 11: 41-49.
- Aydemir SE. Kentsel açık ve yeşil alanlar rekreasyon, kentsel alanların planlanması ve tasarım. Trabzon: KTÜ Yayın; 2000.
- Aydiner Boylu A., Paçacıoğlu B. Yaşam kalitesi ve göstergeleri. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)* 2016; 8(15): 137-150.
- Bakan K., Konuk G. Türkiye’de kentsel dış mekanların düzenlenmesi. Ankara: TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Yayınları; 1987.
- Başalma E. Ankara/Birlik Parkı örneğinde kalite göstergelerinin değerlendirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 102, Ankara, Türkiye, 2014.
- Blancarte-Siqueiros RH., Perez-Verdin G., Cortes-Ortiz A. The relationship between quality of life, sense of belonging, and green spaces in urban environments in the city of Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 2020; 26(1): 97-111.
- Błaszczyk M., Suchocka M., Wojnowska-Heciak M., Muszyńska M. Quality of urban parks in the perception of city residents with mobility difficulties. *PeerJ* 2020; 8: 1-25.
- Brajša-Žganec A., Merkaš M., Šverko I. Quality of life and leisure activities: How do leisure activities contribute to subjective well-being. *Social Indicators Research* 2011; 102 (1): 80-97.
- Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara; 2010.
- Cohen DA., Inagami S., Finch B. The built environment and collective efficacy. *Health & Place* 2008; 14(2): 198-208.

- Coşaner M., Kiper T., Korkut A. Mahalle parklarının peyzaj tasarım ve kullanım kriterleri açısından irdelenmesi: İstanbul-Şişli Örneği. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2014; 11(3): 1-18.
- Çam Y. COVID-19 süreci ve kentsel mekanların kullanımının yeniden planlanması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2020; 4(2): 67-79.
- Çorlu Belediyesi. <https://www.corlu.bel.tr>, 2021.
- De Jong K., Albin M., Skärbäck E., Grahn P., Björk J. Perceived green qualities were associated with neighborhood satisfaction, physical activity, and general health: results from a cross-sectional study in suburban and rural scania, southern sweden. Health Place 2012; 18: 1374-1380.
- Douglas O., Russell P., Scott M. Positive perceptions of green and open space as predictors of neighbourhood quality of life: implications for urban planning across the city region. Journal of Environmental Planning and Management. 2018; 62(4): 626-646.
- Emür HS, Onsekiz D. Kentsel yaşam kalitesi bileşenleri arasında açık ve yeşil alanların önemi- Kayseri/Kocasinan İlçesi park alanları analizi. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2007; 22(1): 367-397.
- Ercan M., Belge ZS. Daha yaşanabilir kentler için mikro ölçek bir yürünebilirlik modeli. METU Journal of the Faculty of Architecture 2017; 2(11): 231-265.
- Eren B. Kentsel kamusal mekânda arayüz/ara mekân kavramı: İstanbul Taksim, Asmalımescit Mahallesi örneğinde irdelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 146, Çanakkale, Türkiye, 2020.
- Evcil AN. Kamusal alan okumaları Esenler. İstanbul: Esenler Belediyesi; 2017.
- Fassio O., Rollero C., De Piccoli, N. Health, quality of life and population density: a preliminary study on “contextualized” quality of life. Social Indicators Research 2013; 110: 479-488.
- Gerçek D., Güven T. Evaluating the sufficiency, accessibility and integrity of green spaces in urban environments. Mühendislik Bilimleri Dergisi 2017; 5(2): 393-397.
- Grahn P., Stigsdotter UA. Landscape planning and stress. Urban Forestry and Urban Greening 2003; 2(1): 1-18.
- Gül A., Küçük V. Kentsel açık-yeşil alanlar ve Isparta Kenti örneğinde irdelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 2001; 2: 27-48.
- Hancock T. Health care reform and reform for health: creating a health system for communities in the 21st century. Futures 1999; 31(5): 17-36.
- HUB KENT Çorlu Vizyon Planı. Trakya Kalkınma Ajansı, Tekirdağ, 2012.
- Hur M., Nasar JL., Chun B. Neighborhood satisfaction, physical and perceived naturalness and openness. Journal of Environmental Psychology 2010; 30(1): 52-59.
- SEGE. İllerin ve bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması 2017. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2019.

- Korpela KM., Ylén M., Tyrväinen L., Silvennoinen H. Stability of self-reported favourite places and place attachment over a 10-month period. *Journal of Environmental Psychology* 2009; 29: 95-100.
- Kursten E. Landscape ecology of urban forest corridors, proc. sixth natl. Urban Forest Conf., 1993; sayfa no: 242-243, Washington.
- Lynch K. Kent imgesi, İ. Başaran (Çev.), İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları; 2010.
- Mahdi A., Hosseini A., Pourahmad A., Hataminejad H. Analysis of effective environmental factors an urban health, a case study of Qom, Iran. *Habitat International* 2016; 55: 89-99.
- Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği. Resmi Gazete (Sayı: 30069). 17 Mayıs 2017.
- Mensah CA., Andres L., Perera U., Roji A. Enhancing quality of life through the lens of, Green spaces: A systematic review approach. *International Journal of Wellbeing* 2016; 6(1): 142-163.
- Moscardo G. Tourism and quality of life: Towards a more critical approach. *Tourism and Hospitality Research* 2009; 9(2): 159-170.
- Neğiş A., Kiper T., Özyavuz, M. Kentsel mekanlarda kalite arayışı çerçevesinde insan odaklı tasarım yaklaşımı: Edirne Selimiye Camii ve çevresi örneği. *Journal of Urban Academy* 2021; 14(1): 156-173.
- Nimmerfeldt G. Introduction: the concept and measurement of quality of life, Tallinn University, Estonya, 2015.
- OECD Environmental Strategy for the First Decade of the 21st Century. Adopted by OECD Environment Ministers, 2001.
- Onuncu Kalkınma Planı. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 2013. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Planı-2014-2018.pdf. Erişim Tarihi: 15.02.2021.
- On Birinci Kalkınma Planı. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, 2019. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf. Erişim Tarihi: 15.02.2021.
- On Birinci Kalkınma Planı Kentsel Yaşam Kalitesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 2018. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Kentsel-Yasam-Kalitesi-Ozel-Ihtisas-Komisyonu-Raporu.pdf>. Erişim Tarihi: 15.02.2021.
- OAL (Oxford Advanced Learners) Dictionary Oxford: Oxford University Press; 1995.
- Öztürk S., Özdemir Z. Kentsel Açık ve Yeşil Alanların Yaşam Kalitesine Etkisi “Kastamonu Örneği”, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 2016; 13(1): 109-116.
- Polat E. Kentsel yaya mekânlarındaki tüm kullanıcılar için karar-destekli bir tasarım modeli önerisi; Ankara kent merkezi örnekleme. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 134, Ankara, Türkiye, 2002.
- PPS. What is placemaking? Project for Public Space. 2007.
- Rogerson JR. Quality of life nad city competitiveness. *Urban Studies*, 1999; 36: 969-985.
- Salihoğlu T., Türkoğlu H. Konut çevresi ve kentsel yaşam kalitesi. *Megaron* 2019; 14(1): 203-217.

- Sarı D. İhtiyaç-etkinlik-mekân ilişkisinin kent parkları örneğinde irdelenmesi. AÇÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2019; 20(2): 181-192.
- Sarı Vİ., Kındap A. Türkiye’de kentsel yaşam kalitesi göstergelerinin analizi. Sayıştay Dergisi 2018; 108: 39-72.
- Sarı, Vİ., Yener İN., İnan Ö. Mekansal planlama sistemine ilişkin değerlendirme raporu. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 2018.
- Stimson R., Marans RW. Objective measurement of quality of life using secondary data analysis, investigating ouality of urban life-theory, methods and empirical research, Edit: Robert W. Marans & Robert J. Stimson, social Indicators Series, London: Springer; 2011.
- Tepe C. Açık ve yeşil alanların kentsel yaşam kalitesine etkisinin belirlenmesi: Sancaktepe örneği. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, sayfa no: 223, Düzce, Türkiye, 2018.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu verileri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2021.
- Türel GD. Ankara Kenti yeşil alanlarının kullanım etkinliklerinin bugünkü durumu ve yeterliliği için alınması gereken önlemler, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Ankara, 1988.
- Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). Yaşam kalitesi göstergeleri Türkiye için bir veri sistemi önerisi. Ankara, 2010.
- Ulrich RS., Addoms DL. Psychological and recreational benefits of a residential park. Journal of Leisure Research 1981; 13(1): 43-65.
- Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2019.
- Van Leeuwen E., Vreeker R., Rodenburg CA. framework for quality of life assessment of urban green areas in Europe: An application to District Park Reudnitz Leipzig. International Journal of Environmental Technology and Management 2003; 6 (1-2): 111-122.
- Van Herzele A., De Vries S. Linking green space to health: a comparative study of two urban neighbourhoods in ghent, Belgium. Popul. Environ. 2012; 34: 171-193.
- Wai So S. Urban green space accessibility and environmental justice: a gis-based analysis in the city of Phoenix, Arizona. Faculty of the USC Graduate School University of Southern California, M.Sc.Thesis, California, USA, 2016.
- Yıldızcı AC. Kentsel yeşil alan planlaması ve İstanbul Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Doçentlik Tezi, İstanbul, Türkiye, 1982.
- Zhang Y., Van den Berg AE., Van Dijk T. WeitkampInt G. Quality over quantity: contribution of urban green space to neighborhood satisfaction. J. Environ. Res. Public Health. 2017; 14(5): 2-10.



Bazı Kaynak Sularında Radon Konsantrasyonlarının ve Etkin Doz Değerlerinin Belirlenmesi

Halime KAYAKÖKÜ^{1*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 13000, Bitlis

¹<https://orcid.org/0000-0003-4036-4012>

*Sorumlu yazar: hkayakoku@beu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.05.2022

Kabul tarihi:29.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

CR-39

Kaynak suyu

Radon

RadoSYS

Yıllık etkin doz

ÖZ

Bu çalışmada, Malatya ilinde çeşitli bölgelerden alınan kaynak sularında, radon konsantrasyonları (C_{Rn}), sindirim ve solunum başına ortalama yıllık etkin doz değerleri (E_{ing} ve E_{inh}) ile toplam yıllık etkin doz miktarları (E_T) ve midenin maruz kaldığı yıllık etkin doz miktarları (SED) hesaplanmıştır. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmış ve radon konsantrasyonları kapalı kutu tekniği ile belirlenmiştir. Çalışmada, C_{Rn} değerleri 0,051 Bq/L ile 0,746 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,307 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Beypınarı su örneği için; E_{ing} , E_{inh} , E_T ve SED ifadelerinin en yüksek doz değerleri sırasıyla, 1,906 μ Sv/y, 1,880 μ Sv/y, 3,786 μ Sv/y ve 0,229 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz miktarlarının tamamı için hesaplanan değerler, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Avrupa Komisyonu (AK) tarafından önerilen sınır değer (100 μ Sv/y) altında bulunmuştur.

Determination of Radon Concentrations and Effective Dose Values in Some Spring Waters

Research Article

Article History:

Received: 10.05.2022

Accepted: 29.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Cr-39

Spring water

Radon

RadoSYS

Annual effective dose

ABSTRACT

In the present study, radon concentrations (C_{Rn}), average annual effective doses per digestion and inhalation (E_{ing} and E_{inh}) with total annual effective doses (ET) as well as annual effective doses to the stomach (SED) were calculated in spring waters taken from various regions in Malatya province. For this purpose, CR-39 passive nuclear tracks detectors were used and radon concentrations were determined by the sealed can technique. In this study, C_{Rn} values ranged between 0,051 Bq/L and 0,746 Bq/L and the average value was calculated as 0,307 Bq/L. The highest values for E_{ing} , E_{inh} , E_T and SED were calculated for Beypınarı water sample as 1,906 μ Sv/y, 1,880 μ Sv/y, 3,786 μ Sv/y and 0,229 μ Sv/y, respectively. The calculated values for all annual effective doses were found to be below the limit value (100 μ Sv/y) which is recommended by World Health Organization (WHO) and European Commission (EC).

To Cite: Kayakökü H. Bazı Kaynak Sularında Radon Konsantrasyonlarının ve Etkin Doz Değerlerinin Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 462-475.

1. Giriş

Suyun içme suyu olarak kullanımının yanı sıra, yüzme, sulama, balık yetiştiriciliği ve bazı endüstri alanlarında da kullanımı mevcuttur. İçme suyundaki radyoaktivite, radyoçekirdeklerin çevreden insana geçişinin önemli bir yoludur. İçme suyundaki en önemli doğal radyoçekirdekler, trityum, Potasyum-40, radyum, radon ve gama yayıcılarıdır. İçme suyunun doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi, suyun tüketilmesinden kaynaklanan riskleri tespit etmek açısından önemlidir. Suda bulunan radyoçekirdekler, özellikle, içme yoluyla insan vücudunda biriktikleri zaman, bir dizi sağlık sorunlarına neden olabilmektedirler.

Radon, alfa parçacıkları yayan her yerde bulunan, kimyasal olarak soygaz ve radyoaktif bir gazdır. Bu gaz, radyoaktif radyumun doğal bozunmasından oluşmaktadır. Radyum ise, uranyum (^{238}U) ve toryum (^{232}Th) gibi radyoaktif elementlerin radyoaktif bozunması sonucu üretilmektedir. Radonun doğal olarak oluşan üç yaygın izotopu vardır. Bunlar: radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve aktinondur (^{219}Rn). Bu izotoplar arasında ^{222}Rn , en kararlı (yarı ömrü 3,83 gün) ve en bol türdür. Bu türün bolluğu ve yarı ömrünün daha uzun olması, ^{222}Rn izotopunu, diğerlerine kıyasla daha baskın ve tehlikeli yapmaktadır (Nagda,1994; Muhammad ve ark., 2020).

Yer altı ve yüzey suları, doğal içeriklerinde radyoçekirdekleri bulundurmaktadırlar. Sularda en fazla uranyum ailesi elemanlarından radyum ve radon bulunmaktadır. Radon, ana çekirdek olan radyumunun bozunması gibi doğal süreçlerin bir sonucu olarak sulardan yayılır (Jobbágy ve ark., 2017). Sudan yayılan ^{222}Rn gazı, solunum veya sindirim yoluyla insanların vücuduna girer. Özellikle çok yüksek dozları, radona maruz kalan kişilerde ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Akram, 2005).

^{226}Ra 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon bazı, yer altı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Yer altı sularının yüzey sularından daha radyoaktif olması, içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütlelerden veya minerallerden ileri gelmektedir. Özellikle, volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara oranla daha yüksektir (Karahana, 1997).

Bu çalışmada amaç, 11 adet kaynak suyunda, radon konsantrasyonlarını (C_{Rn}), sindirim ve solunum başına yıllık ortalama etkin doz değerlerini (E_{ing} ve E_{inh}), toplam etkin dozları (E_{T}) ve midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarını (SED) hesaplayarak, suda radon konsantrasyonu için izin verilen sınır değerlerle karşılaştırmaktır. Bu suların içme suyu olarak tüketilmesi durumunda, sağlık açısından oluşturacağı riskleri ortaya koymaktır. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmış olup, radon konsantrasyonları kapalı kutu tekniği ile belirlenmiştir.

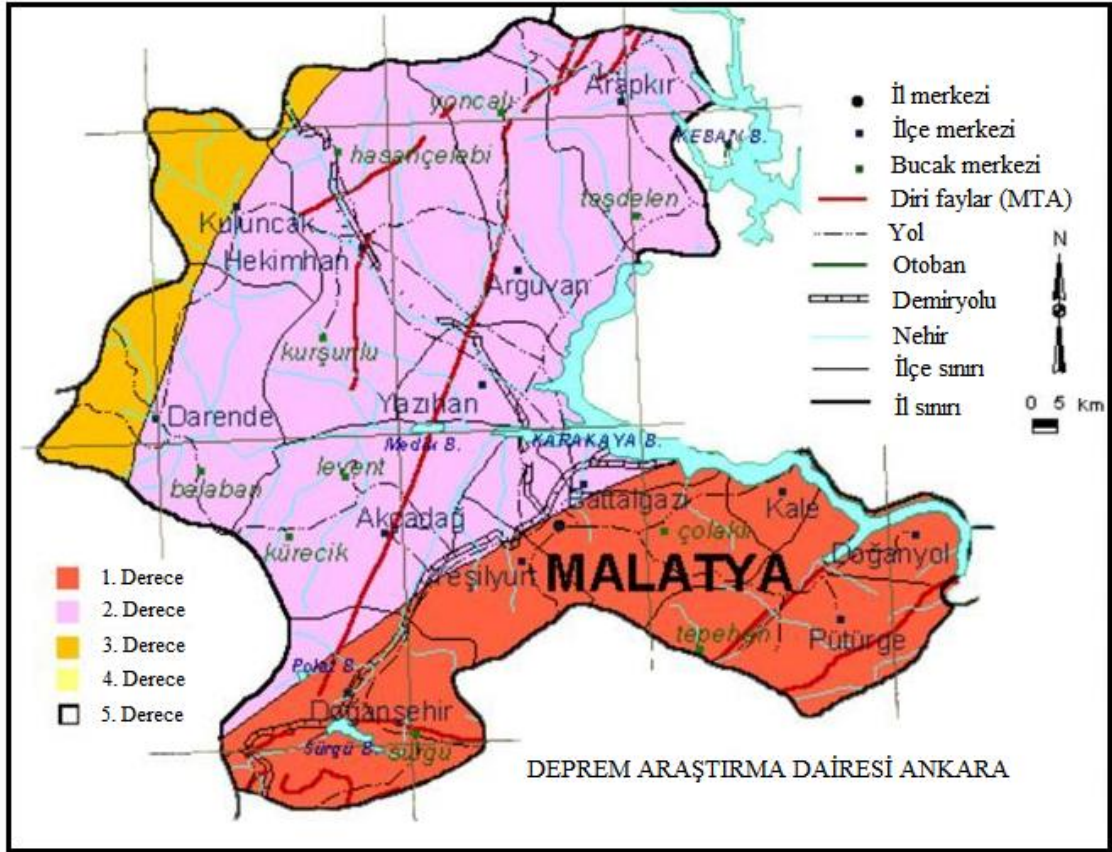
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı ve Örneklerin Alınması

Malatya ili, Türkiye'nin doğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Suyu radon, suyun temas ettiği toprak ve kayalardan geçtiği için, bölgenin toprak ve kaya yapısı hakkında kısaca bilgi

vermek faydalı olacaktır. Malatya il merkezi jeolojik yapı olarak, alüvyon, kumtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Yeşilyurt ilçesi, kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera gibi tortul kayalardan oluşmaktadır. Battalgazi ilçesi de, benzer şekilde, kireçtaşı ve kumtaşı gibi tortul kayaların bulunduğu bir zemine sahiptir. Ayrıca, Doğanşehir ve Kale ilçelerinde de zemin, kumtaşı, kireçtaşı, konglomera, kiltası ve flişlerle kaplıdır. Doğanşehir ve çevresi, genç faylar tarafından sınırlandırılmıştır (Yalçın ve ark., 2003) (Şekil 1).

Şekil 1’de Malatya jeoloji harita gösterilmiş olup (Şaroğlu ve ark., 1987), Şekil 2’deki haritada ise, Malatya ili ve ilçeleri gösterilmiştir. Malatya’da farklı bölgelerden 11 adet su örneği alınmıştır. 1,2, 3 ve 4 nolu örnekler, Doğanşehir ilçesinden, 5 nolu örnek Malatya merkezden, 6 nolu örnek Yeşilyurt ilçesinden, 7, 8 ve 9 nolu örnekler Battalgazi ilçesi Kapıkaya mevkiinde, 10 nolu örnek Battalgazi ilçesi Orduzu beldesinde, 11 nolu örnek ise, Battalgazi ilçesi Çamurlu köyünden alınmıştır.



Şekil 1. Malatya iline ait jeoloji haritası



Şekil 2. Örneklerin alındığı Malatya ili ve ilçeleri

Su kaynaklarından örnek alınırken, kapağında dışarıya gaz kaçışını engelleyen özel bir aparatı olan sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Şişeler tamamen ağzına kadar doldurularak, su kaynağı altında sıkıca kapatılmıştır.

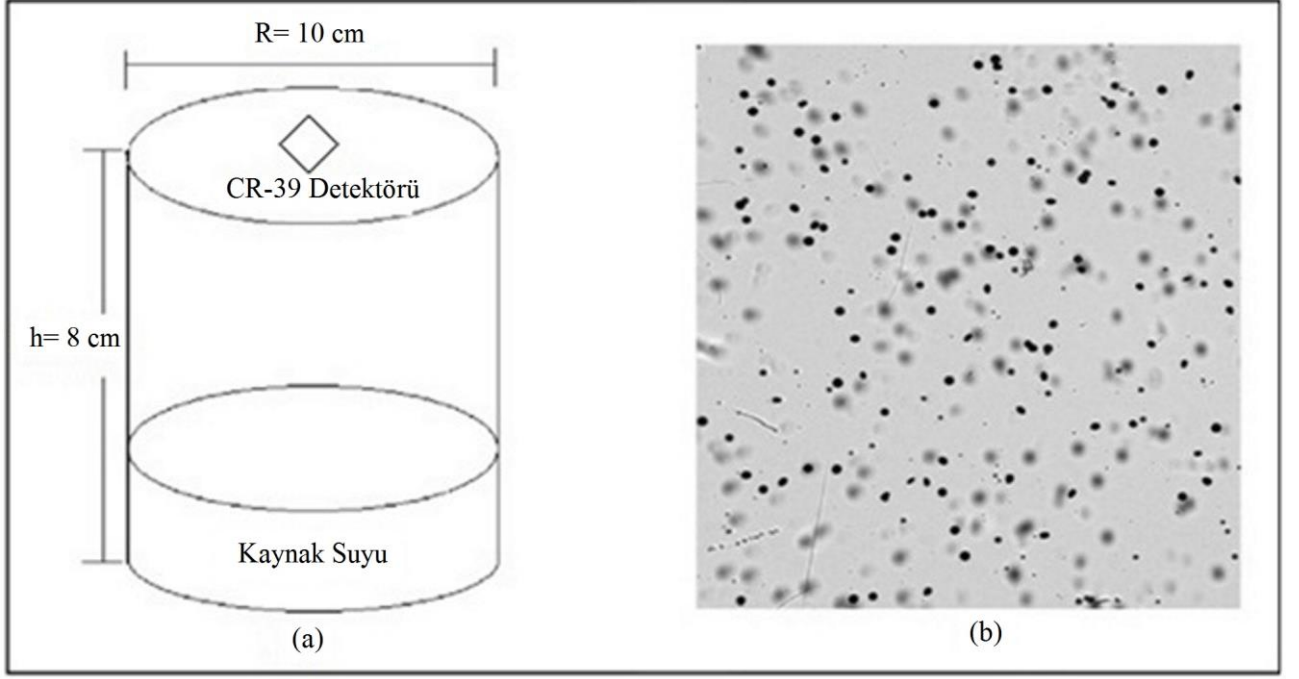
2.2. Örneklerin Hazırlanması, Ölçüm ve Analiz İşlemleri

Laboratuvar ortamına getirilen örneklerin 1 litresine 0,5 ml HNO₃ (nitrik asit) eklenmiştir (Bal ve ark., 2017). Bu şekilde, su örnekleri pH≤2 haline getirilmiş ve örneklerdeki elementlerin, örnek kabının yüzeyine çökmemesi ve yapışmaması sağlanmıştır (Sajo- Bohus ve ark., 1997).

Örnekler, daha sonra, silindirik difüzyon kaplarına aktarılmıştır. 1 cm × 1 cm boyutlarında kesilmiş CR-39 nükleer iz detektörleri de difüzyon kaplarına yerleştirildikten sonra, kapağı sıkıca kapatılmıştır. Bu şekilde pozlanma için, 61 gün boyunca bekletilmiştir. Buradaki amaç, radon ve bozunma ürünlerinin dengeye ulaşması sonucunda yayınlanan alfa parçacıklarının detektör yüzeyinde izler oluşturmasını sağlamaktır. Bekleme süresinin tamamlanmasının ardından, detektörler, difüzyon kaplarından çıkartılarak, slaytlar üzerine yerleştirilmiştir (slayt başına 12 detektör). Bu şekilde, 90 °C'de 6,25 M NaOH çözeltisi içinde yaklaşık 5 saat boyunca kimyasal kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Kazıma işlemi tamamlandıktan sonra, çözeltinin içinden çıkarılan detektörler, saf su ile yıkanıp, kurutulmuştur. Alfa parçacıklarının çarpması ile detektör yüzeyinde oluşan izler, RadoSYS otomatik sayma sistemi ile sayılmıştır. Kimyasal kazıma ve otomatik sayım, RadoBATH ve RadoSYS sistemleri kullanılarak yapılmıştır (RadoSYS, 2011).

RadoSYS sistemi ×40 büyütme optik mikroskoba sahiptir ve radon gazına ait izleri, her bir detektör üzerinde 5,74 mm²'lik alanlara sahip 9 farklı noktada sayabilmektedir. Oluşabilecek istatistiksel hatayı azaltabilmek amacıyla, her detektör için sayım işlemi 3 defa tekrarlanmıştır.

Çalışmada kullanılan silindirik difüzyon kabı ve CR-39 detektörleri üzerinde oluşan izlerin görüntüsü Şekil 3'te verilirken, RadoSYS radon algılama sistemi ise, Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. (a) Silindirik difüzyon kabı **(b)** CR-39 detektörü üzerinde oluşan izler



Şekil 4. RadoSYS radon algılama sistemi

Detektör yüzeyindeki iz yoğunlukları, Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Salih ve Jaafar, 2012).

$$\text{İz yoğunluğu } (\rho) = \frac{\text{Toplam iz sayısı}}{\text{Detektörün yüzey alanı}}$$

(1)

Su örnekleri için radon aktivite konsantrasyonları ise, Denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{Rn} = \frac{\rho \times f}{t}$$

(2)

bu denklemde, sırası ile, C_{Rn} , ρ , f ve t ifadeleri, radon aktivite konsantrasyonunu (Bq/L), iz yoğunluğunu (iz/mm²), CR-39 detektörler için üretici firma tarafından verilen kalibrasyon çarpanını (44,47 kBq.h.mm²/iz.m³) ve maruz kalma süresini (h) temsil etmektedir (RadoSYS, 2011) (1 kBq= 10³ Bq, 1 m³= 10³ L).

Bu kaynak suları, halk tarafından içme suyu olarak da tüketilmektedir. Bu durumda, bir yıllık sürede sindirim yoluyla alınan doz, aşağıdaki formül (Denklem 3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{ing} = C_{Rn} \times W_c \times EDC$$

(3)

Burada, E_{ing} , içme suyu tüketimine bağlı olarak bir yıl boyunca maruz kalınan dozu ($\mu\text{Sv/y}$); C_{Rn} , suda ²²²Rn konsantrasyonunu (Bq/L); W_c , yetişkinler için bir yılda tüketilen tahmini su miktarını (günde 2 litreden yılda 730 litre) (WHO, 2011); EDC ise, sindirim için etkin doz katsayısını ($3,5 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/Bq}$) ifade etmektedir.

Su, içtikten sonra, doğrudan mideye gitmektedir. Suda yapılan çalışmalar sonucunda, içme suyundaki radon konsantrasyonunun yüksek olması durumunda, midede kanser riski oluşturabileceği belirtilmiştir. Bu durumda, midenin maruz kaldığı doz miktarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Denklem (4) yardımıyla midenin maruz kalacağı doz miktarı hesaplanabilmektedir.

$$SED = E_{ing} \times WT$$

(4)

Burada, SED, midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarı olup, WT ise, doz hesaplamalarında mide için kullanılan ağırlık faktörüdür (WT = 0,12) (Prasad ve ark., 2008). Doz hesaplamalarında kullanılan ağırlık faktörü, ICRP tarafından 1993 yılında yayınlanan rapordan alınmıştır (ICRP, 1993).

Radon gazını solunması durumunda, soluma başına yıllık ortalama etkin doz değeri, Denklem (5) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_{inh} = C_{Rn} \times R_{AW} \times F \times O \times DCF$$

(5)

Burada, E_{inh} , soluma başına yıllık ortalama etkin dozdur ($\mu\text{Sv/y}$); R_{AW} , havadaki radon miktarının musluk suyundaki radon miktarına oranıdır (10^{-4}) (UNSCEAR, 2008); F , radon için denge faktörünün küresel ortalamasıdır (0,4) (UNSCEAR, 2008); O , küresel ortalama iç mekan doluluk faktörüdür (7000 h/y) (UNSCEAR, 2008) ve DCF ise, radon için doz dönüşüm faktörüdür [$9 \times 10^{-3} \mu\text{Sv.m}^3/(\text{Bq.h})$] (WHO, 2011).

Toplam etkin doz ise, solunum başına yıllık ortalama etkin doz ve sindirim başına yıllık ortalama etkin dozun toplamına eşittir (Denklem 6).

$$E_T = E_{ing} + E_{inh}$$

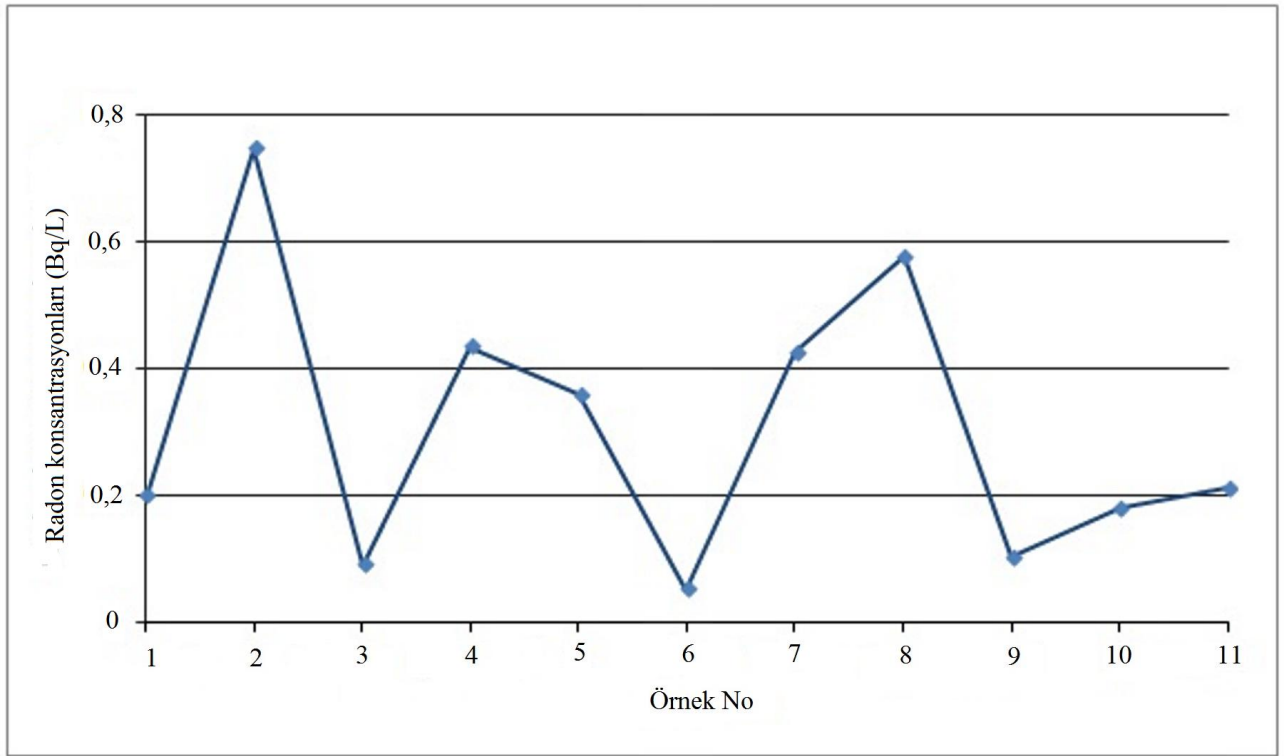
(6)

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, kaynak sularında ^{222}Rn konsantrasyonunun yanı sıra, suyun tüketimine bağlı sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri ile midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarı da hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tablo 1 ile Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

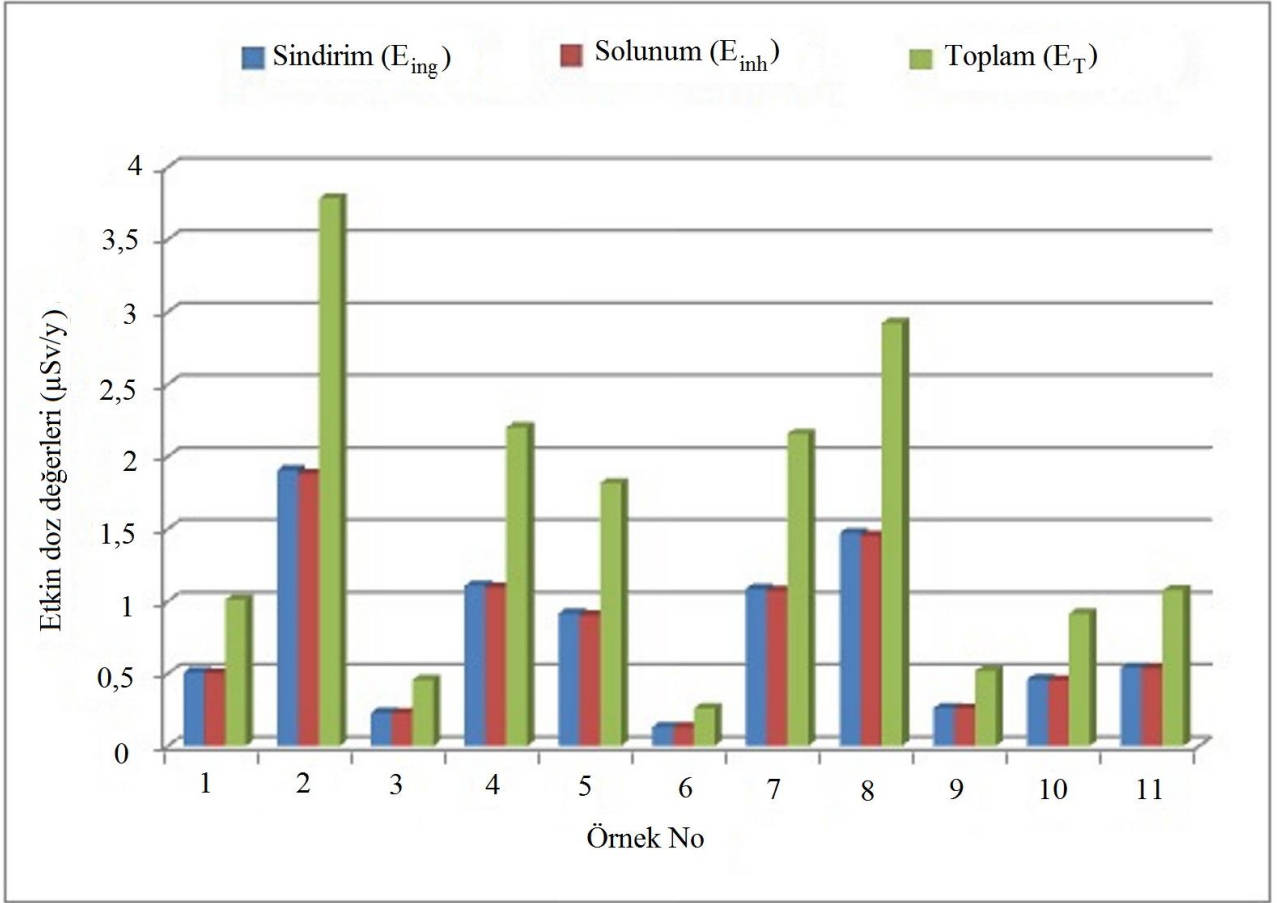
Tablo 1. Su örnekleri için C_{Rn} , E_{ing} , E_{inh} , E_T ve SED değerleri

| Örnek No | Örnek Adı | C_{Rn} (Bq/L) | E_{ing} ($\mu\text{Sv/y}$) | E_{inh} ($\mu\text{Sv/y}$) | E_T ($\mu\text{Sv/y}$) | SED ($\mu\text{Sv/y}$) |
|----------|---------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | Beypınarı Giriş | 0,199 | 0,508 | 0,501 | 1,009 | 0,061 |
| 2 | Beypınarı | 0,746 | 1,906 | 1,880 | 3,786 | 0,229 |
| 3 | Polat- Akpınar | 0,090 | 0,230 | 0,227 | 0,457 | 0,028 |
| 4 | Gülderesi | 0,434 | 1,109 | 1,094 | 2,203 | 0,133 |
| 5 | Elemendik | 0,358 | 0,915 | 0,902 | 1,817 | 0,110 |
| 6 | Ağcapınar (Şekersu) | 0,051 | 0,130 | 0,129 | 0,259 | 0,016 |
| 7 | İspendere 1 | 0,425 | 1,086 | 1,071 | 2,157 | 0,130 |
| 8 | İspendere 2 | 0,576 | 1,472 | 1,452 | 2,923 | 0,177 |
| 9 | İspendere 3 | 0,102 | 0,261 | 0,257 | 0,518 | 0,031 |
| 10 | Pınarbaşı | 0,180 | 0,460 | 0,454 | 0,914 | 0,055 |
| 11 | Venk | 0,212 | 0,542 | 0,534 | 1,076 | 0,065 |
| | Ortalama | 0,307 | 0,784 | 0,773 | 1,556 | 0,094 |



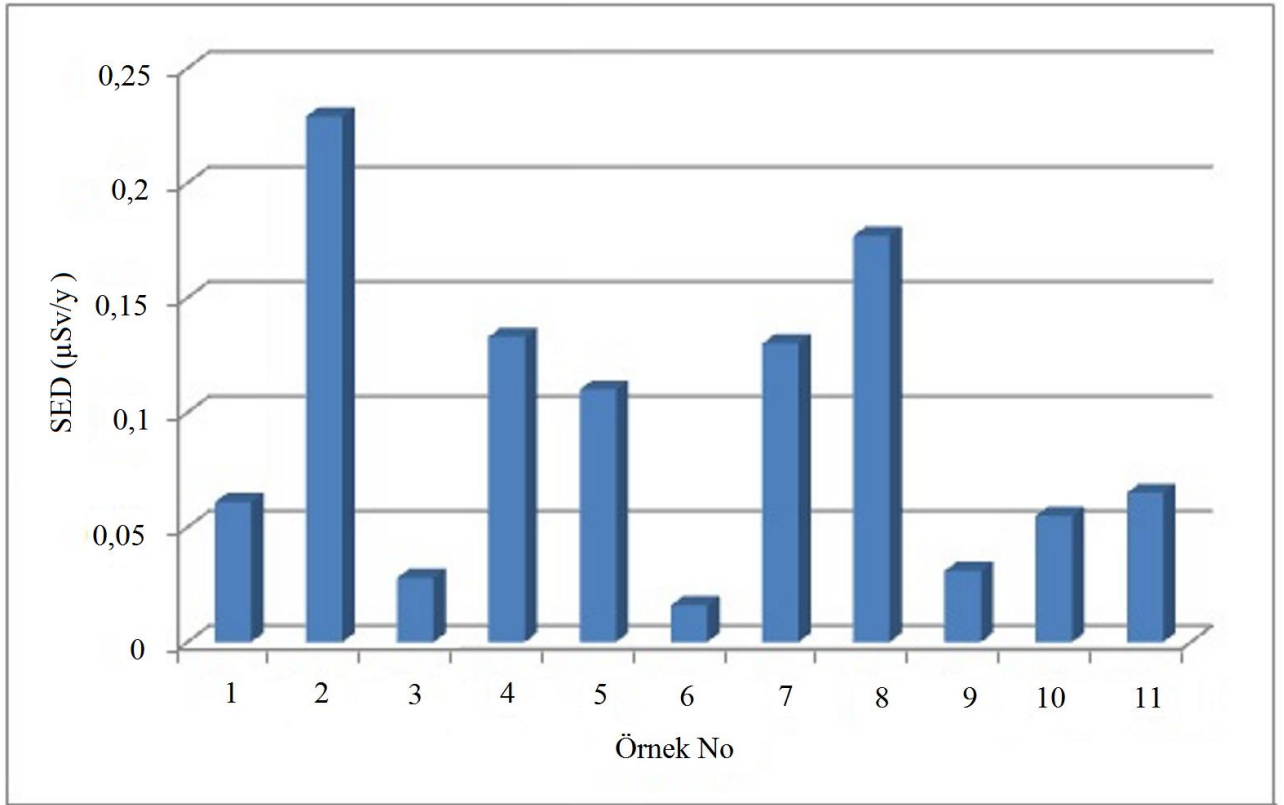
Şekil 5. Su örneklerinde radon konsantrasyonları

Tablo 1 incelendiği zaman, su örneklerinde radon konsantrasyon değerlerinin 0,051 Bq/L ile 0,746 Bq/L aralığında değiştiği ve ortalama değer ise, 0,307 Bq/L olduğu görülmektedir. En düşük radon konsantrasyon değerinin; Ağcapınar (Şekersu) su örneğine (0,051 Bq/L), en yüksek radon konsantrasyon değerinin ise, Beypınarı su örneğine (0,746 Bq/L) ait olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Su örnekleri için sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri

Benzer şekilde, yetişkinler tarafından bu suların içilmesi veya sulardan yayılan radon gazının solunması durumunda, sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri, sırasıyla, (0,130-1,906) $\mu\text{Sv/y}$, (0,129-1,880) $\mu\text{Sv/y}$ ve (0,259-3,786) $\mu\text{Sv/y}$ aralıklarında değişmektedir. Beypınarı su örneğine ait olan sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri en yüksek olup, bu değerler, sırası ile 1,907 $\mu\text{Sv/y}$, 1,880 $\mu\text{Sv/y}$ ve 3,786 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Su örnekleri için midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarları

Bu suların içilmesinden sonra, midenin maruz kaldığı yıllık doz miktarları ise, (0,016-0,229) $\mu\text{Sv/y}$ aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,094 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

Literatürde, Malatya ili ve ilçelerindeki sularda radon ve radyoaktivite analizi ile ilgili çalışmalara pek rastlanmamıştır. Yalçın ve ark. (2003), Malatya ili içme sularının toplam alfa ve beta radyoaktivitelerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, su örnekleri için ortalama toplam alfa radyoaktivitesini $0,1171 \pm 0,0175$ Bq/L, ortalama toplam beta radyoaktivitesini ise, $0,2200 \pm 0,0198$ Bq/L olarak hesaplamışlardır. Bu sonuçlardan ortalama toplam alfa radyoaktivite seviyesinin, DSÖ tarafından tavsiye edilen üst limit olan 0,5 Bq/L değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Ortalama toplam beta radyoaktivite seviyesinin ise, yine DSÖ tarafından tavsiye edilen üst limit olan 1 Bq/L değerinin altında olduğu görülmektedir (WHO, 2006).

Benzer çalışmalarda, Gündoğan (2016), Kilis ili genelinde, sularda ortalama radon konsantrasyonunu 1,86 Bq/L olarak hesaplamıştır. Çetinkaya (2009), Kütahya ili içme sularında radon konsantrasyonlarının $0,119 \pm 0,067$ Bq/L ile $48,510 \pm 3,46$ Bq/L aralığında değiştiğini gözlemlemiştir. Benzer şekilde, Batman ilindeki içme sularında ise, radon konsantrasyonu, $0,883 \pm 0,349$ Bq/L ile $0,195 \pm 0,103$ Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 0,455 Bq/L olarak bulunmuştur (Alp, 2014). Srinivasa ve ark. (2018), Hindistan'ın Karnataka bölgesinde, 20 adet su örneğinde radon konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada, radon konsantrasyonları, 3,96 Bq/L ile 90,63 Bq/L aralığında değişmekte olup, ortalama değer 35,34 Bq/L olarak hesaplanmıştır. Çalışmada, ayrıca,

sindirim, solunum ve toplam etkin doz oranları da incelenmiş olup, bu veriler için ise ortalamalar, sırasıyla, 7,41 $\mu\text{Sv/y}$, 89,05 $\mu\text{Sv/y}$, 96,46 $\mu\text{Sv/y}$ olarak hesaplanmıştır.

Mevcut çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, yukarıda bahsi geçen yapılmış benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlardan daha düşüktür. Bu düşüklüğün sebepleri arasında ise, bölgelerin jeolojik yapılarının (toprak ve kayaç özellikleri, deprem, toprak kayması, volkanik yapı vs.) farklılığı, meteorolojik (atmosfer basıncı, sıcaklık, nem ve yağış) farklılıklar ve kullanılan yöntemlerin farklı olması vb. sayılabilir.

Su örneklerinde radon konsantrasyonu için sınır değer, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından 11,1 Bq/L olarak bildirilirken (USEPA, 2011), Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafından, insan tüketimi için sudaki radon konsantrasyonu 4-40 Bq/L olarak verilmiştir (UNSCEAR, 2008). Ayrıca, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve WHO, içme suyu tüketiminden alınan yıllık etkin doz oranının referans seviyesinin, 100 $\mu\text{Sv/y}$ olarak belirlenmesini önermektedirler (WHO, 2004; IAEA, 2002).

4. Sonuçlar

Mevcut çalışmada, Malatya iline ait 11 farklı kaynak suyu örneğinde radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla, CR-39 pasif nükleer iz detektörleri kullanılmıştır. Bu sular, içme suyu olarak tüketilmelerinin yanı sıra, tarımda sulama amaçlı ve balık yetiştiriciliğinde de kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, radon konsantrasyonları belirlenerek, halk sağlığına yönelik olası risklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

En yüksek radon konsantrasyonu (0,746 Bq/L ile) Polat-Beypınarı su örneği için hesaplanmıştır. Bu kaynak suyu, Doğanşehir ilçesinin Polat beldesinde bulunmakta olup, Polat ve yakın çevresinde en yaşlı birimler paleozoik ve mezozoik dönemine ait Malatya metamorfikleridir. Daha önceden yapılmış olan araştırmalar, metamorfik ve volkanik kayaçların radyoaktif madde içeriğinin yüksek olduğunu göstermiştir (Ozan ve Ekinci, 2011). Malatya ili 1. derecede tehlikeli deprem bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Bu bölge, tarih boyunca Doğu Anadolu Fay Sistemine bağlı fayların ürettiği büyük depremlerin etkisi altında kalmıştır. Bu kaynak suyunun temin edildiği bölge olan Doğanşehir ve yakın çevresi, genç faylar tarafından sınırlandırılmıştır. Bölgede etkili olan fay sistemleri; Sürgü Fayı ve Malatya Fayı'dır. Sürgü Fayı, Malatya ovasını güneyden sınırlayan ve kuzey-kuzeybatıdan geçen Akçadağ-Malatya fayı olup bu fay hatları aktif fay hatlarıdır. Malatya fayı, Doğanşehir'in güneybatısından başlayıp, Yazıhan'a kadar devam etmektedir (Şekil 1) (Şaroğlu ve Yılmaz, 1981; Şengün ve ark., 2016). Daha önce yapılmış çalışmalar, fay hatlarının geçtikleri bölgelerdeki topraklarda radon konsantrasyonunun yüksek olduğunu göstermiştir. Yüzey suları ve yer altı suları da, doğrudan bu toprak veya kayalarla temas halindedir. Dolayısıyla, sulardaki radon konsantrasyonu, topraktaki radon konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Baykara ve Doğru, 2006; Doğru ve ark., 2008; Şahin, 2009).

Su örneklerinin tamamı için hesaplanan radon konsantrasyonları (0,051 Bq/L - 0,746 Bq/L aralığında) ve ortalama radon konsantrasyonu (0,307 Bq/L), USEPA tarafından bildirilen sınır değeri olan 11,1 Bq/L'nin ve UNSCEAR'ın insan tüketimi için verdiği değeri olan 4-40 Bq/L'nin altındadır. Ayrıca, sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri için en yüksek veriler, Beypınarı su örneğine ait olup, örneklerin tamamı için elde edilen sindirim, solunum ve toplam etkin doz değerleri ve ortalamaları, IAEA ve WHO tarafından önerilen sınır değeri (100 µSv/y) altındadır.

Bu durum, bahsi geçen su kaynaklarının tüketiminin ve çeşitli amaçlar için kullanımının, radon gazı bakımından, halk sağlığı açısından risk teşkil etmeyeceği anlamına gelmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalenin yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederim.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

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

Kaynaklar

- Akram M., Khattak N., Iqbal A., Qureshi A., Ullah K., Qureshi I. Measurement of radon concentration in dwellings of Skardu city, Pakistan. *Radiation Measurement* 2005; 40: 695-698.
- Alp MS. Batman ilindeki sulara radon konsantrasyonunun tayini. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 99, Bingöl, Türkiye, 2014.
- Bal SŞ., Kılıç Ö., Gönültaş, F. Bitlis kaynak sularında radon konsantrasyonunun belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2017; 21(3): 302-306.
- Baykara O., Doğru M. Measurements of radon and uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian active fault systems (Turkey). *Radiation Measurements* 2006; 41: 362-367.
- Çetinkaya H. Kütahya ili içme sularında radon ve radyum miktarlarının belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 84, Kütahya, Türkiye, 2009.
- Doğru M., Bingöl AF., Aksoy E., İnceöz M., Baykara O., Külahci F., Şahin S. Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerinde radon gazı hareketlerinin izlenmesi. TÜBİTAK Projesi, Fırat Üniversitesi, Proje No: 104Y158, 2008.
- Gündoğan A. Kilis ili sularında radon gazı ölçümü. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 65, Kilis, Türkiye, 2016.
- IAEA. International Atomic Energy Agency. Specification of Radionuclide Content in Comities Requiring Regulation for Purposes of Radiation Protection Safety Guide, 2002.
- ICRP. International Commission on Radiological Protection. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press ICRP Publication, no:65, NY, pp. 45. 1993.
- Jobbágy V., Altitzoglou T., Malo P., Tanner V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity* 2017; 173: 18-24.

- Karahan G. İstanbul'un çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri. İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 134, İstanbul, Türkiye, 1997.
- Muhammad S., Ullah R., Turab SA., Khan MY., Khattak NM., Khan MA. Radon concentration in drinking water and soil after the September 24, 2019, Mw 5.8 earthquake, Mirpur, Azad Jammu and Kashmir: an evaluation for potential risk. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27: 32628–32636.
- Nagda NL. Radon: prevalence, measurements, health risks and control. Philadelphia PA: ASTM, 1994.
- Ozan SS., Ekinci CE. Yapılarda Radon Fenomeni ve Radon-Sağlık İlişkisi. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0266, 2011; 6(4): 1590-1602.
- Prasad G., Prasad Y., Gusain GS., Ramola RC. Measurement of radon and thoron levels in soil, water and indoor atmosphere of Budhakedar in Garhwal Himalaya, India. *Radiation Measurements* 2008; 43: 375-379.
- RadoSYS. RadoSYS Radometer 2000 User Manual 2011, Hungary.
- Sajo-Bohus L., Gomez J., Capote T., Greaves ED., Herrera O., Salazar V., Smith A. Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity* 1997; 35(3): 305-312.
- Salih FN., Jaafar MS. The optimum time of etching proved the sensitivity of the CR-39 detector. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2012; 3(9): 1-8.
- Şaroğlu F., Güner Y. Doğu Anadolu'nun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Ögeler: Jeomorfoloji, Tektonik, Volkanizma İlişkileri. *TJK Bülteni* sayfa no:24, 39-50, Ankara, 1981.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi Başkanlığı, (Yayınlanmamış rapor), 394s, 1987.
- Srinivasa E., Rangaswamy DR., Suresh S., Reddy KU., Sannappa J. Measurement of ambient gamma radiation levels and radon concentration in drinking water of Koppa and Narasimharajapura taluks of Chikmagalur district, Karnataka, India. *Radiation Protection and Environment* 2018; 41(1): 20-25.
- Şahin S. Sivrice Fay Zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 133, Elazığ, Türkiye, 2009.
- Şengün MT., Günek H., Küçük A. Polat Ovasında (Malatya) Jeomorfolojik Birimlerle Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Ankara.
- UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Report to the general assembly, with scientific annexes, United Nations, New York, 2008.

- USEPA. United States Environmental Protection Agency. Proposed Radon in Drinking Water Regulation. DC, EPA: 600/R-09/052F, 2011.
- Yalçın M., Doğru M., Canbazoğlu C. The gross alpha and beta radioactivity of drinking water stores of Malatya (Turkey) city centre. *Balkan Physics Letters, BPL* 2003; 11 (1): 1-4.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking water quality Recommendations 2004; 1: 206-209.
- WHO. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), Chapter 9: Radiological aspects. Geneva: World Health Organization, 2006; 1: 204-206.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Gutenberg, Għaxaq, 2011.

Ardışık SWARA TODIM Yöntemleri ile Bir Ağız Sağlığı Merkezi için Global Lokasyon Seçimi

G. Nilay YÜCENUR^{1*}, M. Hakan YAZICI²

^{1,2}Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34398, İstanbul

¹ <https://orcid.org/0000-0002-2670-6277>

² <https://orcid.org/0000-0001-6393-8811>

*Sorumlu yazar: e-mail: nilayyucenur@beykent.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.02.2022

Kabul tarihi: 29.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Küresel yer seçimi
Çok kriterli karar verme
Diş sağlığı merkezi
SWARA
TODIM
WASPAS

ÖZ

Bir sağlık kuruluşu yatırımı yapılması planlandığında atılması gereken ilk adım, en doğru kuruluş yerinin seçilmesidir. Bu önemli seçim süreci ekonomik, ekolojik ve çevresel etkileri göz önünde bulunduran bir planlama süreci olup kuruluş aşamasında karar verici konumundaki yöneticilerin, kuruluşlarının yerleşim planlamasını analitik yöntemleri kullanarak gerçekleştirilmeleri ise bir zorunluluktur. Bu çalışmada uluslararası bir diş kliniği yatırımı için sağlık sektörünün ilk adımı sayılabilecek yer seçimi probleminin çözümünde çok kriterli karar verme tekniklerinden Ağırlıklı Toplam Modeli ve Ağırlıklı Çarpım Modeli (Weighted Aggregated Sum Product Assessment - WASPAS) adımı yardımıyla Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis - SWARA) ve Etkileşimli ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (Iterative Multi-criteria Decision Making - TODIM) yöntemleri uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 4 ana kriter, 17 alt kriter ve 6 alternatif ülkeden oluşan çok kriterli karar verme modeli önerilmiştir. Almanya, İspanya, Hollanda, İngiltere, İrlanda ve Belçika'nın da aralarında bulunduğu alternatif ülkeler ülke yapısı, ülkenin demografik yapısı, maliyet ve risk başlıkları altında toplanan kriterler bazında değerlendirilmiştir. Önerilen modelin, önerilen sıralı yöntemle çözülmesi ile Almanya böylesi bir diş sağlığı merkezi yatırımı için en uygun lokasyon olarak bulunmuştur.

Global Location Selection for an Oral Health Center with a Sequential Method by SWARA&TODIM

Research Article

Article History:

Received: 09.02.2022

Accepted: 29.07.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Global location selection
Multi-criteria decision making
Dental health care center
SWARA
TODIM
WASPAS

ABSTRACT

The first step to take when a healthcare facility investment is planned is to choose the most appropriate facility location. This important selection process is a planning process that takes into account economic, ecological and environmental effects, and it is necessary for managers who are decision-makers at the establishment stage to carry out the settlement planning of their organizations using analytical methods. In this study, Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and Iterative Multi-criteria Decision Making (TODIM) methods with a help of Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS) step, which are among the multi-criteria decision-making techniques, have been applied to the solution of the location selection problem, which can be considered as the first step of health sector investments for an international dental clinic. Within the scope of the study, a multi-criteria decision-making model consisting of 4 main criteria, 17 sub-criteria and 6 alternative countries has been proposed. Alternative countries including Germany, Spain, Netherlands, England, Ireland, and Belgium were evaluated on the basis of criteria gathered under the headings of country structure, demographic structure of the country, cost and risk. By solving the proposed model with the proposed sequential method, Germany was found to be the most suitable location for such a dental health center

To Cite: Yücenur GN, Yazıcı MH. Ardışık SWARA TODIM Yöntemleri ile Bir Ağız Sağlığı Merkezi için Global Lokasyon Seçimi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 476-492.

1. Introduction

The health sector, or in other words the medical sector and healthcare industry, is one of the leading needs for individuals, societies, and countries. Although the health sector is an important business line in the establishment of public health of nations, it is a sector that directly affects economic development due to mutual benefit. This economic development can be in two forms. The first form of economic development is to have an efficient and more effective workforce that has been obtained with the establishment of public health. The second form of economic development is that the sub-sectors connected to the health sector are in constant interaction and they strengthen the economic community by continuously feeding each other due to business partnerships.

The healthcare industry is one of the most important sectors for which all countries, especially developed countries, allocate the most budget. In addition, the sector is among the fastest growing industries in the World.

Determination of health institutions' facility locations correctly in the sector, which grows so fast and has a high economic contribution to the countries, has a great importance because providing sufficient services without delay to individuals in a need and contributing to the company in economic terms.

Oral and dental health have become more important day by day in line with the increasing awareness of the effects of oral and dental health on general body health, the spread of aesthetic dentistry treatments and socio-economic developments. With this increased importance, the demand of dental treatments increases and at this point oral and dental health centers and dental clinics becomes insufficient.

A study on the effect of oral and dental health on cardiovascular diseases and systemic inflammation indicated that poor oral health has negative effects on heart disease and systemic inflammation (Frisbee et al., 2010). Along with the physical effects of dental health, there are also psychological effects on human health. Kenealy et al. (2007) determined that orthodontic treatment contributed positively to self-confidence in their study.

The global disease burden study carried out in 2017 indicated that oral and dental diseases affected 3.5 billion people in the same year and that there were not enough institutions for dental treatment (Murray et al., 2018). Similarly, the World Health Organization emphasized that healthcare services in most countries are inadequate, access to treatment is low due to the inadequate and unequal distribution of oral health centers and clinics, and that oral health institutions are generally needed. In addition, another study showed that only 63% of the patients' needs could be met due to the insufficient number of institutions providing dental treatment and due to determination of clinics' locations wrongly (Hosseinpour et al., 2012). Researches show that the demand for treatment cannot be met due to the increasing demand for treatment, insufficient number of health institutions and wrong institution locations with the better understanding and gaining importance of the effects of oral and dental health on mental and physical health.

This study is conducted on the global location selection decision in a new hospital investment for a multinational dental group. For this purpose, a multi criteria decision-making (MCDM) model consisting of 4 main and 17 sub-criteria was proposed for 6 alternative countries in which the dental group is planning to invest, using the literature and expert opinions. The proposed model was solved by using SWARA and TODIM methods consecutively. Differ from literature WASPAS method's normalization step also integrated to the solution steps and the best alternative location was determined among 6 countries based on criteria. All these used techniques are included by MCDM techniques.

In the literature, it is seen that the SWARA method, which has increased its usage rate in recent years is used in the weighting of decision criteria in different MCDM problems. Nevertheless, the number of studies on location selection with the SWARA method is not more than a few studies. For example, Mostafaeipour et al. (2020) ranked the locations for producing hydrogen, and Popovic et al. (2019) selected a hotel location.

Another method used in the solution phase of the study is the TODIM method. While determining the criterion importance weights with the SWARA method, with the TODIM method, decision criteria are evaluated hierarchically, and the most suitable alternative is found. In the literature, examples of location selection problem that using the TODIM method can be listed as follows: Rezaeisabzevar et al. (2020) determined a landfill site, Guo et al. (2020) solved a storage site selection problem and Wu et al. (2019) selected an optimal location for offshore wind-PV-seawater pumped storage power plant.

In the literature, there are few studies in which SWARA and TODIM methods are used together. For example, Aydoğan and Özmen (2020) analyzed a travel and tourism competitiveness of economies around the World, Dahooie and Dehghan (2018) proposed a framework to rank and select volleyball players and Ruzgys et al. (2014) evaluated the external wall insulation in residential buildings.

Finally, in the literature about location selection in the health sector, examples of studies carried out with the help of MCDM techniques are as follows: in hospital location problems Kaveh et al. (2020) used genetic algorithm, Şahin et al. (2019) used analytic hierarchy process, Miç and Antmen (2019) and Senvar et al. (2016) used fuzzy TOPSIS, Eldemir and Önden (2016) used geographic information system and fuzzy analytic hierarchy process. Moreover, Zolfani et al. (2020) used CRITIC and CoCoSo methods for a location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic.

In the light of all these researches, it is clear that there is no sample study on the problem of choosing the suitable location in global market for a dental clinic by using SWARA and TODIM methods together in literature.

This study is important in terms of being a source for dental health researchers with the MCDM model it proposes and guiding future studies with the sequential solution methods it uses. This study will contribute to the literature with its proposed MCDM model. Furthermore, it will guide future studies with the usage of sequential SWARA and TODIM methods for the first time in the solution of a global scale location problem in the dental health sector and including WASPAS method normalization step in the solution phase.

2. Materials and Methods

In the literature, there is no location selection study conducted for dental clinics and oral health centers until today. In this study, in order to contribute to the literature, the problem of location for the globally needed oral and dental health centers was discussed and the MCDM model was proposed for the globally location selection problem of a multinational dental health center. The proposed model consisting of 4 main, 17 sub-criteria and 6 alternatives were evaluated using SWARA and TODIM methods, which are among the MCDM methods, and the solution methodology with the normalization step of the WASPAS method included in the solution phase is shown in Fig. 1.

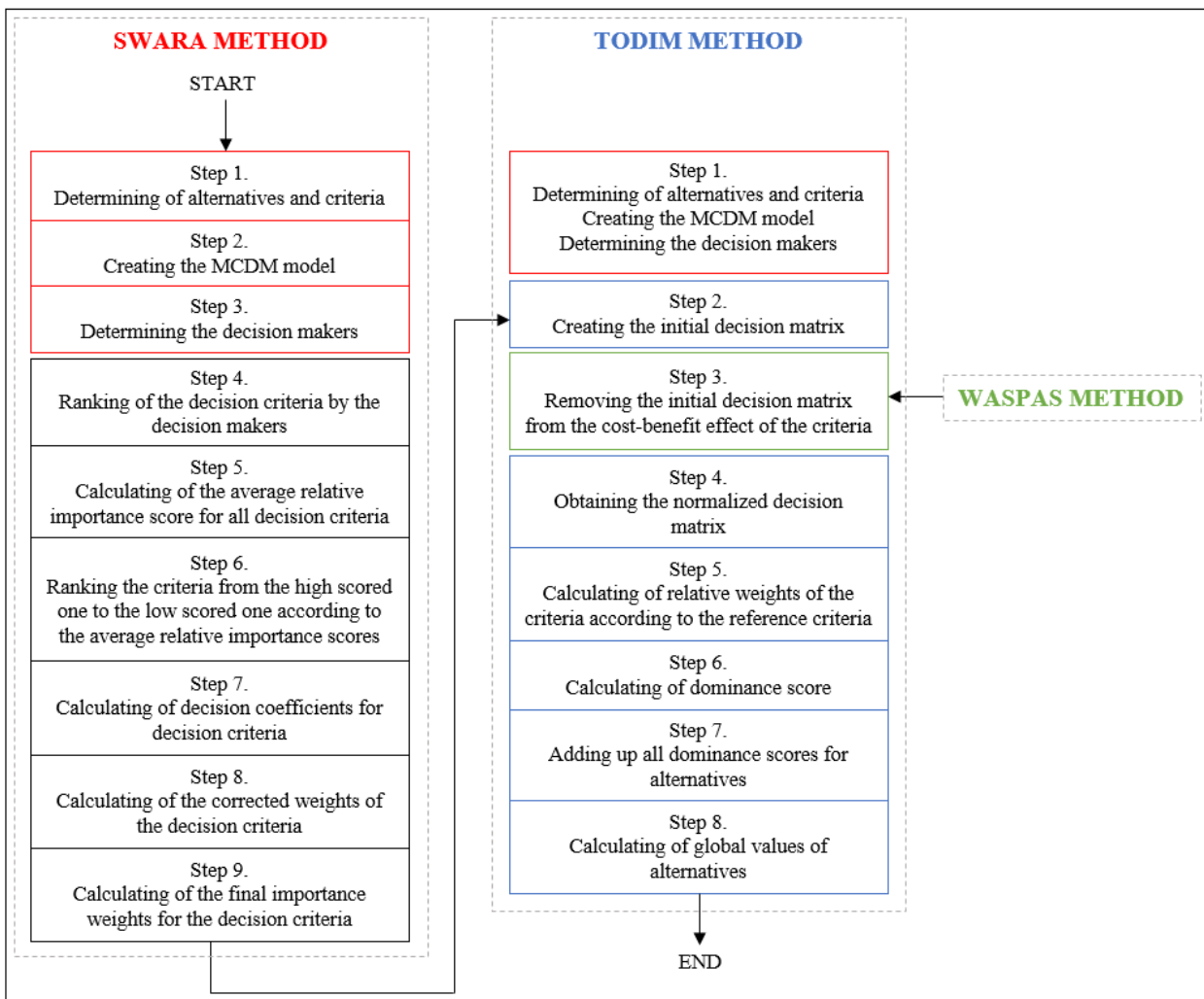


Figure 1. Schematic representation of the proposed solution process

2.1 Definition of the Research Problem

Determination of the right location for the healthcare institutions that want to provide services in the global market will enable the service operations to be offered more effectively in accordance with the patient population, while minimizing the costs to be encountered in the operating processes. Thus, health institutions will gain an economic advantage and will be able to reach an advantageous position against their competitors in the market.

This study was carried out to solve the problem of globally location selection problem of a multinational oral and dental health center, which is one of the healthcare institutions with increasing global investments in the healthcare industry. The aim of the study is to help location selection, which has a great importance in investment plans, to be made correctly and to contribute to the literature.

2.2 Determination of Research Decision Criteria

While creating the proposed research model for the solution of the globally location selection problem, dental clinics and oral dental centers operating in the global market were examined in detail in determination the criteria and sub-criteria. The research model was created as a result of the information obtained from these organizations, literature research and expert opinions of dental health professionals.

Information about the oral and dental health professionals, whose opinions were taken in determining the model criteria and in evaluating the alternatives on the basis of the criteria, are shown in Table 1. While 2 of the 5 dental health specialists whose opinions were taken in the study work in public institutions, 3 of them work in private polyclinics.

Table 1. Academic and sectoral information about experts

| Experts | Title | Experience (year) | Education |
|---------|---------------------------------|-------------------|-----------|
| 1 | Clinic owner / Orthodontist | 32 | PhD |
| 2 | Clinic owner / Endodontist | 14 | PhD |
| 3 | Prosthesis specialist | 12 | PhD |
| 4 | Dentist | 18 | M.Sc. |
| 5 | Dental clinic financial officer | 27 | M.Sc. |

The determined criteria of the research model are as follows:

- Criteria about *COUNTRY STRUCTURE*:
 - *C₁ Rivals*: Rivals: The effectiveness of other dental clinics and oral dental health centers in the area planned to be selected (Şahin et al., 2019; Senvar et al., 2016).
 - *C₂ Medical technology*: This criterion, which expresses all manual and electronic treatment equipment required by the dental clinic, directly affects the quality of treatment (Şahin et al., 2019; Chiu and Tsai, 2013).
 - *C₃ Eligibility for health tourism*: Investments to be made in countries that are suitable for health tourism will be able to provide treatment services to the local patient population as well as to the foreign patient population who may come to the country.
 - *C₄ Qualified workforce*: Qualified dental health professionals and associate professionals should be available to conduct to clinical activities effectively and to ensure high service quality.
 - *C₅ Market growth rate*: While the market growth rate represents the increasing demand within the region, high demand will directly affect the profitability of the dental clinic.
 - *C₆ Government incentives*: Government incentives for foreign investment will be supportive for company activities and shorten the return-on-investment period for the dental clinic (Şahin et al., 2019; Wu et al., 2007).

- *C₇ Development of the pharmaceutical industry:* The developed pharmaceutical industry will facilitate access to supportive care and increase the quality in the treatment process (Chiu and Tsai, 2013; Wu et al., 2007).
- *C₈ Economic stability:* Stability of the economy of the country to be invested will create a lower risk for investment costs and will allow the patients to have a continuous and sufficient economic power to reach treatment.
- *C₉ Political stability:* This criterion represents the political order and continuity in the government of the country to be invested. Since political uncertainties will adversely affect macroeconomic performance, it will cause the dental clinic to be exposed to economic risks.
- Criteria about *DEMOGRAPHIC FEATURES:*
 - *C₁₀ Income:* Income status represents the economic power of the population and will directly benefit the dental clinic as high income will create high purchasing power (Şahin et al., 2019).
 - *C₁₁ Population:* It represents the number of people living in the region and the potential demand for dental treatments can be guess by this number (Şahin et al., 2019; Senvar et al., 2016; Chiu and Tsai, 2013).
 - *C₁₂ Population age:* It represents the average age of the population living in the area to be invested. High average age affects the demand positively (Şahin et al., 2019; Senvar et al., 2016; Chiu and Tsai, 2013; Wu et al., 2007).
- Criteria about *COST:*
 - *C₁₃ Investment cost:* It is a one-time cost that includes land and construction costs (Senvar et al., 2016).
 - *C₁₄ Labor cost:* It represents the annual average wage of a qualified workforce and is a continuous cost (Senvar et al., 2016).
 - *C₁₅ Operation cost:* It is a permanent cost created by the ongoing activities of the dental clinic.
- Criteria about *RISK:*
 - *C₁₆ Terror:* These are political, ethnic and historical problems that affect the business world negatively as well as affecting the whole society. The risk of terrorism will adversely affect businesses and employees and will put the dental clinic's continuity into an unpredictable process.
 - *C₁₇ Natural disasters:* These are natural disasters that can adversely affect all kinds of activities of dental clinic, especially earthquake.

2.3 Determination of Research Alternatives

Today, health institutions provide health services to foreign patients who come to the country within the scope of health tourism as well as the local population. Some difficulties encountered in meeting the increasing demand of health tourism encourage health institutions to invest in foreign countries. Health institutions try to establish new hospitals, oral and dental health clinics in the most suitable places of the World due to reasons such as the time lost by the person requesting treatment in transportation, the treatment processes to be continued in more than one session and cost.

In this study, the problem of globally facility location selection for an oral and dental health clinic within sufficient service capacity in response to foreign patient demand was examined based on its limitations and criteria. The 6 alternative countries identified by experts for the solution of the problem are as shown below, together with their characteristics.

- *A₁Germany*: It is one of the leading countries in Europe in terms of economic and technological development. Due to the rapidly increasing number of academic studies and qualified health professionals within the scope of dental health and dental treatment, it has the necessary competencies in meeting oral and dental health needs and providing dental health services. The high number of English-speaking people in Germany, the high level of quality of life and economic opportunities, makes this country advantageous for global investments. Providing economic stability in the country has a great importance for investors and employees. The increasing number of organizations providing dental health services is a disadvantageous feature for this country.
- *A₂ Spain*: Spain is one of the countries with a high welfare level in Europe. One of the advantageous features of the country is that it is one of the countries with the lowest operation costs in Europe in providing dental health services. Furthermore, its cultural wealth is an important tourism advantage for this country. Easy transportation facilities are also an important factor that contributes to accessing health services. The disadvantages of the country compared to other European countries are that the economic stability is lower and the number of English-speaking people in Spain is lower.
- *A₃ Netherlands*: The Netherlands is the country with the lowest operation cost in Europe in terms of dental health services, and this feature is considered among its sectoral advantages. The welfare level is also high in the Netherlands, which has one of the highest values in Europe in terms of GDP per capita. High number of English-speaking people, economic and political stability are other advantageous features of the country.
- *A₄England*: England, located on the island of Great Britain in the west of Europe, is known for its universities with high education quality. Its highly qualified workforce and being suitable for health tourism are among the important advantages of the country. On the other hand, the country may be insufficient in terms of the capacity to provide oral dental health services, because of its fewer qualified dental health professionals than other European countries.
- *A₅ Ireland*: Ireland located in Northwest Europe is one of the leading countries in terms of medical technology development. The country has a great advantage in the high number of personnel employed in medical technology, the production and supplying of the treatment equipment needed in health institutions. High income and high welfare level are other advantageous features of the country. The lack of need for health tourism in Ireland is a disadvantage. However, although high medical technology is an advantage, the inadequacy of the pharmaceutical industry is a disadvantage. There is no average operation cost across the country in terms of the services provided by health institutions, there are also serious price differences between the east and west of the country. This unbalanced pricing may cause negativity accessing to the health service.

- *A₆ Belgium*: Belgium's strong global economy and transportation facilities are integrated with other regions of Europe. The pharmaceutical industry in the country, which has a high workforce and advanced medical technology facilities, is also at a level that can meet the demand. Being one of the countries with the highest urbanization rate in Europe, Belgium is advantageous in terms of access to health services with this feature. However, it is disadvantageous for investors in terms of health demand expectation due to its low population and young average age.

Fig. 2 shows the proposed research model of the study.

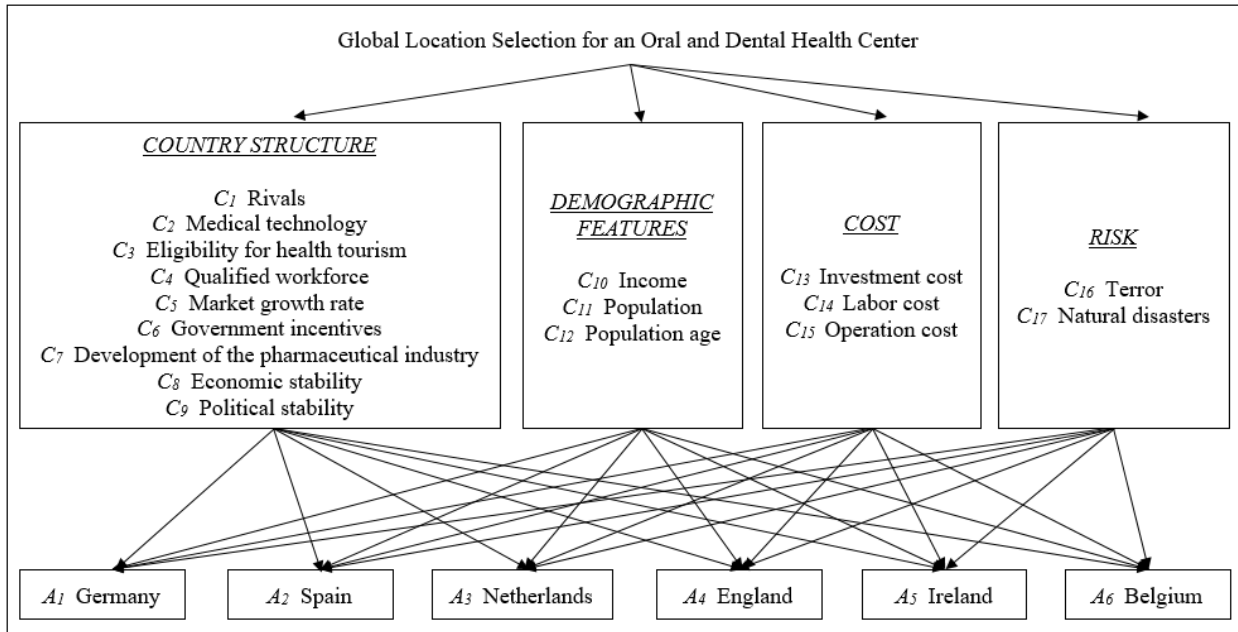


Figure 2. Proposed Research Model

2.4 The Assumptions of the Research

There are some assumptions that need to be made for the implementation and evaluation processes of the proposed model. There is no relationship between research criteria. The sample dental clinic planned to be established in each country is in the same size. All alternatives have equal number of oral and dental health professionals and patient chairs. In addition, for opening a dental clinic in alternative countries it is assumed that the sample oral and dental health center meets the legal responsibilities and has the permits required.

3. Application of Proposed Solution Method to Research Problem

The location selection for healthcare organizations is of great importance for businesses to achieve their profitability goals and is also very important for the community to reach healthcare services on time. The proposed research model in this study, which deals with the problem of location selection for a multinational dental clinic, was solved with the help of MCDM techniques such as SWARA and TODIM.

In the proposed solution methodology, SWARA and TODIM techniques were used sequentially. In the first stage of the proposed solution methodology, the importance weights of the criteria were determined with

SWARA technique, and in the second stage, the most suitable alternative was selected by evaluating the alternatives with TODIM method.

In the solution approach, alternatives were evaluated with both quantitative and qualitative data in terms of criteria, and this feature protected the study from possible evaluation limitations.

Moreover, in the normalization process of the criteria that are expected to be both maximized and minimized, the criteria for minimization were normalized with the WASPAS method, unlike the SWARA/TODIM studies in the literature. This addition to the proposed solution methodology is an important contribution to the literature.

3.1. The First Stage in Problem Solution: SWARA method

SWARA method, which is among the MCDM methods, is a method used in determining criteria weights, which is very important in decision making processes. The method was developed by Keršulienė, Zavadskas and Turskis in 2010 (Keršulienė et al., 2012). Utilizing expert opinion in determining decision criteria weights, the method allows each decision-maker to choose their own priorities and rank the criteria according to their proximity to each other instead of a scale that uses intervals like Likert scale. For this reason, expert opinions are more important in SWARA method than others.

The 17 decision criteria of the proposed research model in solving the global location selection problem for the oral and dental health clinic were weighted by following the steps of SWARA method (Ulutas et al., 2020; Keršulienė et al., 2012; Zavadskas et al., 2018):

- **Step 1. Determining of alternatives and criteria:** A problem consists of criteria and alternatives. In decision problems, n is the number of criteria and C_j is the set of criteria ($j = 1, \dots, n$). Also, while m is the number of alternatives, A_i is the set of alternatives ($i = 1, \dots, m$). The research problem consists of 17 decision criteria and 6 country alternatives.
- **Step 2. Creating the MCDM model:** After determination of the decision criteria and alternatives, the MCDM model is created.
- **Step 3. Determining the decision makers:** In the decision problem, l is the number of decision makers, k_l is the set of decision makers ($k = 1, \dots, l$). The research problem evaluated by 5 decision makers.
- **Step 4. Ranking of the decision criteria by the decision makers:** For determination of the importance weights of the criteria, first the criteria are ranked from the most important one to the least important by decision makers. Then all criteria are reordered from 1.00 to 0.00 to match the first ordering. The most important criterion has 1.00 value in second ranking. Later, the scores of the other criteria are determined according to the most important criterion. By subjecting all criteria to this process, relative importance weights are obtained for each criterion. The scores assigned to the decision criteria are expressed as P_j^k ($0 \leq P_j^k \leq 1$).

In the first solution stage of the proposed problem in this study, 17 decision criteria were ranked by 5 healthcare professionals with work experience in the dental health sector from the most important to the least important. As a result of these evaluation processes, the P_j^k values shown in Table 2 were obtained.

- **Step 5.** Calculating of the average relative importance score for all decision criteria: Using Eq. (1), the average relative importance scores (\bar{P}_j) are calculated for all criteria.

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{k=1}^l P_j^k}{l} \quad (1)$$

Table 2 shows the calculated \bar{P}_j values.

Table 2. The ordering of the decision criteria by experts and calculated \bar{P}_j values

| Criteria | Experts | | | | | \bar{P}_j |
|----------|---------|----|----|----|----|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 10 | 11 | 10 | 7 | 10 | 0.55 |
| 2 | 9 | 10 | 9 | 5 | 11 | 0.60 |
| 3 | 15 | 12 | 17 | 14 | 14 | 0.25 |
| 4 | 3 | 3 | 1 | 8 | 2 | 0.90 |
| 5 | 11 | 7 | 5 | 15 | 6 | 0.50 |
| 6 | 16 | 15 | 16 | 16 | 15 | 0.20 |
| 7 | 12 | 8 | 11 | 10 | 12 | 0.45 |
| 8 | 7 | 14 | 12 | 9 | 7 | 0.70 |
| 9 | 17 | 17 | 15 | 12 | 16 | 0.10 |
| 10 | 1 | 2 | 8 | 6 | 1 | 1.00 |
| 11 | 2 | 1 | 6 | 4 | 8 | 0.95 |
| 12 | 14 | 9 | 7 | 13 | 9 | 0.30 |
| 13 | 5 | 4 | 2 | 1 | 3 | 0.80 |
| 14 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 0.85 |
| 15 | 6 | 6 | 3 | 2 | 5 | 0.75 |
| 16 | 8 | 13 | 13 | 11 | 13 | 0.65 |
| 17 | 13 | 16 | 14 | 17 | 17 | 0.35 |

- **Step 6.** Ranking the criteria from the high scored one to the low scored one according to the average relative importance scores: The decision criteria are ranked in descending order, based on the \bar{P}_j values obtained with Eq. (1), the decision criterion with the highest \bar{P}_j value written at the top. After this ordering is made, the means of the comparative weights (s_j) for each criterion are calculated. For example, s_1 shows the average value of the comparative weight between the first important criterion and the second important criterion.

For sample problem, the new order of the criteria created according to \bar{P}_j values is $C_{13} > C_4 > C_{10} > C_{14} > C_{11} > C_{15} > C_2 = C_5 > C_1 > C_8 > C_{12} = C_7 > C_{16} > C_3 > C_6 = C_{17} > C_9$. Table 3 shows this ordering and calculated s_j values of the criteria.

- **Step 7.** Calculating of decision coefficients for decision criteria: The decision coefficient expressed as c_j is calculated for each decision criterion using Eq. (2).

$$c_j = S_j + 1 \quad (2)$$

The c_j values obtained for the sample problem are shown in Table 3.

- **Step 8.** Calculating of the corrected weights of the decision criteria: The corrected weight value (S'_j) is calculated using Eq. (3) for all decision criteria. While calculating the S'_j value, the ranking obtained according to \bar{P}_j is taken into consideration and S'_j value of the first ranked criterion is equal to 1.

$$S'_j = \frac{S'_{j-1}}{c_j}, S'_{j-1} > S_j \quad (3)$$

The S'_j values obtained for the sample problem are shown in Table 3.

- **Step 9. Calculating of the final importance weights for the decision criteria:** The final importance weight value (w_j) for all decision criteria is calculated using Eq. (4).

$$w_j = \frac{S'_j}{\sum_{j=1}^n S'_j} \quad (4)$$

The w_j values obtained for the sample problem are shown in Table 3.

Table 3. For all criteria \bar{P}_j , s_j , c_j , S'_j and w_j values

| Criteria | \bar{P}_j | s_j | c_j | S'_j | w_j | Criteria | \bar{P}_j | s_j | c_j | S'_j | w_j |
|----------|-------------|-------|-------|--------|--------|----------|-------------|-------|-------|--------|--------|
| 13 | 0.90 | - | 1.00 | 1.000 | 0.0766 | 8 | 0.56 | 0.01 | 1.01 | 0.728 | 0.0558 |
| 4 | 0.88 | 0.02 | 1.02 | 0.980 | 0.0571 | 12 | 0.52 | 0.04 | 1.04 | 0.700 | 0.0536 |
| 10 | 0.87 | 0.01 | 1.01 | 0.971 | 0.0744 | 7 | 0.52 | 0.00 | 1.00 | 0.700 | 0.0536 |
| 14 | 0.85 | 0.02 | 1.02 | 0.952 | 0.0729 | 16 | 0.47 | 0.05 | 1.05 | 0.667 | 0.0511 |
| 11 | 0.84 | 0.01 | 1.01 | 0.942 | 0.0722 | 3 | 0.32 | 0.15 | 1.15 | 0.580 | 0.0444 |
| 15 | 0.83 | 0.01 | 1.01 | 0.933 | 0.0715 | 6 | 0.26 | 0.06 | 1.06 | 0.547 | 0.0419 |
| 2 | 0.61 | 0.22 | 1.22 | 0.765 | 0.0586 | 17 | 0.26 | 0.00 | 1.00 | 0.547 | 0.0419 |
| 5 | 0.61 | 0.00 | 1.00 | 0.765 | 0.0586 | 9 | 0.25 | 0.01 | 1.01 | 0.541 | 0.0415 |
| 1 | 0.57 | 0.04 | 1.04 | 0.735 | 0.0563 | | | | | | |

According to the values in Table 3, investment cost, income and qualified workforce criteria are the most important criteria for this problem. Operation cost, population and labor cost criteria are relatively less important among these criteria.

After determining the importance weights of the decision criteria with the SWARA method, TODIM method was used in the evaluation of 6 alternative countries in the proposed model and the alternatives were ranked.

3.2 The Second Stage in Problem Solution: TODIM method

The foundations of the TODIM method, which is one of the MCDM methods, were laid by Salminen (1994). The first successful applications of the method were made by Gomes and Lima (1992). TODIM is based on the expectation theory developed by Kahneman and Tversky (1979). With TODIM method, a ranking among the alternatives in the MCDM problem is aimed to obtain. To achieve this goal in the method, a value function is used, and the shape of this function is same as the gain and loss function in the expectation theory. With this function, the concepts of gain and loss can be expressed at the same time. In addition, this function can reflect the behavioral characteristics of the decision maker such as the selection of reference criteria or risk a version. This is an advantage of the method.

The 6 alternative cities of the proposed research model in solving the global location selection problem for the oral and dental health clinic were evaluated by following the steps of TODIM method (Guo et al., 2020; Aydoğan and Özmen, 2020; Dahooie and Dehghan, 2018):

- **Step 1. Determining of alternatives and criteria:** In the TODIM method, as in the SWARA method, n is the number of criteria and C_j is the set of criteria ($j = 1, \dots, n$). Also, while m is the number of alternatives, A_i is the set of alternatives ($i = 1, \dots, m$).
- **Step 2. Creating the initial decision matrix:** Using the values obtained for alternatives on the basis of criteria, the initial decision matrix is created with the help of Eq. (5).

$$X = [x_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

The initial decision matrix for the sample problem is shown in Table 4. For preparing the decision matrix, objective data were collected for 15 of the 17 criteria within the scope of the problem. After the objective evaluation, the opinions of the experts, whose academic knowledge and work experience were given in Table 1, regarding C_1 and C_6 criteria were taken. Thus, these criteria have been evaluated by subjective data. In this subjective assessment, the criteria are scored between 1 and 5. If the alternative the more meets the relevant criterion, than takes higher score.

Table 4. Initial decision matrix of the sample problem

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Condition</i> | | <i>min</i> | <i>Max</i> | <i>max</i> | <i>max</i> | <i>max</i> | <i>max</i> | <i>max</i> | <i>max</i> | <i>min</i> |
| w_j | | 0.0563 | 0.0586 | 0.0444 | 0.0751 | 0.0586 | 0.0419 | 0.0536 | 0.0558 | 0.0415 |
| <i>Alternatives</i> | 1 | 3 | 25 | 5.2 | 73855 | 6 | 4 | 30815 | 1.5 | 62 |
| | 2 | 3 | 5 | 5.3 | 11689 | 14 | 4 | 15595 | 2.4 | 78 |
| | 3 | 3 | 9 | 4.7 | 9675 | 33 | 4 | 5052 | 2.6 | 37 |
| | 4 | 4 | 15 | 5.1 | 35000 | 1.3 | 3 | 20774 | 1.4 | 80 |
| | 5 | 4 | 74 | 4.5 | 3217 | 72 | 3 | 1977 | 8.2 | 29 |
| | 6 | 3 | 15 | 4.5 | 8516 | 14 | 4 | 4771 | 1.5 | 68 |
| | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
| <i>Condition</i> | | <i>max</i> | <i>Max</i> | <i>max</i> | <i>min</i> | <i>min</i> | <i>min</i> | <i>min</i> | <i>min</i> | |
| w_j | | 0.0744 | 0.0722 | 0.0536 | 0.0766 | 0.0729 | 0.0715 | 0.0511 | 0.0419 | |
| <i>Alternatives</i> | 1 | 47603 | 83019200 | 47 | 5907 | 45675 | 67 | 1547 | 2.95 | |
| | 2 | 30370 | 46714997 | 42 | 4978 | 175961 | 125 | 1639 | 3.05 | |
| | 3 | 53024 | 17333790 | 43 | 6902 | 65466 | 64 | 1530 | 8.24 | |
| | 4 | 42943 | 55977000 | 41 | 21179 | 80443 | 156 | 1801 | 3.54 | |
| | 5 | 78806 | 4921500 | 36 | 3170 | 65560 | 72 | 1390 | 4.6 | |
| | 6 | 47518 | 11480534 | 41 | 4500 | 65012 | 69 | 1533 | 3.07 | |

Step 3. Removing the initial decision matrix from the cost-benefit effect of the criteria: In MCDM problems, depending on the structure of the problem, some of the decision criteria used in the problem are benefit-based and some are cost-based. While benefit-based criteria are intended to be maximized, cost-based criteria should be minimized. With the help of Eq. (6) and Eq. (7) which are used in the WASPAS method this affect is removed for all benefit and cost criteria.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (\text{for benefit criteria}) \quad (6)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (\text{for cost criteria}) \quad (7)$$

In the sample problem, while Eq. (6) was used for 10 benefit-based criteria, Eq. (7) was used for 7 cost-based criteria.

- **Step 4.** Obtaining the normalized decision matrix: Normalization process is applied to the matrix that is cleared from the maximization and minimization effects of the criteria.

The normalized decision matrix for the sample problem are shown in Table 5.

Table 5. Normalized decision matrix without maximization and minimization feature of criteria

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alternatives | 1 | 0.182 | 0.175 | 0.178 | 0.520 | 0.043 | 0.182 | 0.390 | 0.085 | 0.137 |
| | 2 | 0.182 | 0.035 | 0.181 | 0.082 | 0.100 | 0.182 | 0.197 | 0.136 | 0.109 |
| | 3 | 0.182 | 0.063 | 0.159 | 0.068 | 0.235 | 0.182 | 0.064 | 0.148 | 0.230 |
| | 4 | 0.136 | 0.105 | 0.174 | 0.247 | 0.009 | 0.136 | 0.263 | 0.080 | 0.106 |
| | 5 | 0.136 | 0.517 | 0.154 | 0.023 | 0.513 | 0.136 | 0.025 | 0.466 | 0.293 |
| | 6 | 0.182 | 0.105 | 0.154 | 0.060 | 0.100 | 0.182 | 0.060 | 0.085 | 0.125 |
| | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
| Alternatives | 1 | 0.159 | 0.378 | 0.187 | 0.154 | 0.255 | 0.204 | 0.168 | 0.210 | |
| | 2 | 0.101 | 0.213 | 0.169 | 0.183 | 0.066 | 0.109 | 0.159 | 0.203 | |
| | 3 | 0.177 | 0.079 | 0.170 | 0.132 | 0.178 | 0.213 | 0.170 | 0.075 | |
| | 4 | 0.143 | 0.255 | 0.162 | 0.043 | 0.145 | 0.087 | 0.145 | 0.175 | |
| | 5 | 0.262 | 0.022 | 0.146 | 0.287 | 0.178 | 0.189 | 0.187 | 0.135 | |
| | 6 | 0.158 | 0.052 | 0.166 | 0.202 | 0.179 | 0.198 | 0.170 | 0.202 | |

- **Step 5.** Calculating of relative weights of the criteria according to the reference criteria: After the calculation of importance weights (w_j) for all criteria, the reference criterion is decided by the decision maker. The reference criterion is the most important criterion for the decision maker. The relative weights of the criteria (w_{jr}) are calculated using Eq. (8).

$$w_{jr} = w_j/w_r \tag{8}$$

In the sample problem C_{13} (investment cost) was determined as a reference criterion. For all criteria, w_j values found by SWARA method and w_{jr} values found with TODIM method's step are shown in Table 6.

Table 6. w_j and w_{jr} values for all decision criteria

| Criteria | w_j | w_{jr} | Criteria | w_j | w_{jr} | Criteria | w_j | w_{jr} |
|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|
| 1 | 0.0563 | 0.7353 | 7 | 0.0536 | 0.7000 | 13 | 0.0766 | 1.0000 |
| 2 | 0.0586 | 0.7647 | 8 | 0.0558 | 0.7280 | 14 | 0.0729 | 0.9517 |
| 3 | 0.0444 | 0.5797 | 9 | 0.0415 | 0.5415 | 15 | 0.0715 | 0.9329 |
| 4 | 0.0751 | 0.9804 | 10 | 0.0744 | 0.9707 | 16 | 0.0511 | 0.6667 |
| 5 | 0.0586 | 0.7647 | 11 | 0.0722 | 0.6422 | 17 | 0.0419 | 0.5469 |
| 6 | 0.0419 | 0.5469 | 12 | 0.0536 | 0.7000 | | | |

- **Step 6.** Calculating of dominance score: When considering the C_j criterion, the dominance score of the A_i alternative over the $A_{i'}$ alternative is calculated using Eq. (9).

$$\varphi_j(A_i, A_{i'}) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{jr}(r_{ij} - r_{i'j})}{\sum_{j=1}^n w_{jr}}} & , \text{ if } r_{ij} - r_{i'j} > 0 \\ 0 & , \text{ if } r_{ij} - r_{i'j} = 0 \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{j=1}^n w_{jr})(r_{i'j} - r_{ij})}{w_{jr}}} & , \text{ if } r_{ij} - r_{i'j} < 0 \end{cases} \tag{9}$$

$r_{ij} - r_{i'j} > 0$ and $r_{ij} - r_{i'j} < 0$ show the gain or loss of the A_i alternative versus the $A_{i'}$ alternative for the first criterion. Here θ is the factor for reducing losses. It is $\theta > 0$ and as this value changes, the shape of the expectation value function changes in the negative region of the coordinate system (Sen et al., 2015).

- **Step 7.** Adding up all dominance scores for alternatives: The dominance scores of the A_i alternative over the alternative $A_{i'}$ calculated for all criteria are summed up by using Eq. (10).

$$\delta(A_i, A_{i'}) = \sum_{j=1}^n \varphi_j(A_i, A_{i'}) \tag{10}$$

- **Step 8. Calculating of global values of alternatives:** By normalizing the dominance scores calculated in the previous step, the global dominance score (ζ_i) of the A_i alternative is calculated by Eq. (11).

$$\zeta_i = \frac{\sum_{i'}^m \delta(A_i, A_{i'}) - \min \sum_{i'}^m \delta(A_i, A_{i'})}{\max \sum_{i'}^m \delta(A_i, A_{i'}) - \min \sum_{i'}^m \delta(A_i, A_{i'})} \quad (11)$$

The alternatives are ranked in descending order according to their calculated global dominance scores. The alternative with the highest global dominance score is the most suitable alternative.

In the sample application, for each alternative the dominance scores based on all criteria relative to each other were calculated and then the global dominance scores of alternatives were determined. The global dominance score for each alternative and the rankings of the alternatives according to this score are shown in Table 7.

Table 7. δ and ζ values and the ranking

| Alternatives | δ | Z | Ranking |
|----------------------|----------|-------|----------|
| 1 <i>Germany</i> | -18.839 | 1.000 | 1 |
| 2 <i>Spain</i> | -47.704 | 0.310 | 5 |
| 3 <i>Netherlands</i> | -41.821 | 0.451 | 3 |
| 4 <i>England</i> | -60.660 | 0.000 | 6 |
| 5 <i>Ireland</i> | -38.907 | 0.520 | 2 |
| 6 <i>Belgium</i> | -42.009 | 0.446 | 4 |

Ranking among alternative cities according to the global dominance scores given in Table 7 was found as $A_1 > A_5 > A_3 > A_6 > A_2 > A_4$. Accordingly, Germany has been determined to be the most suitable alternative for the solution of sample problem.

For the oral and dental health center, which is planned to be established to serve in the global market, according to the model proposed within the scope of this study, it has been found that Germany is the most suitable alternative city by using the SWARA-TODIM methods, which are used sequentially. According to the data obtained with solution phases, Ireland is the second most suitable country after Germany and the Netherlands is the third most suitable country for such an investment.

Based on all these results income, qualified labor force and investment cost criteria have played an active role in the evaluation.

4. Conclusion

In this study, MCDM model was proposed for the solution of global location selection problem for an oral dental health center and this proposed model was solved by using SWARA and TODIM techniques together. Within the scope of the study carried out, the importance weights of the criteria in the problem were determined by using the SWARA technique and the city location alternatives were evaluated within the scope of these criteria and ranked by the TODIM method.

The establishment and solution phase of the problem addressed within the scope of the study were conducted based on previous research in literature and the help of oral and dental health sector managers, professionals, and dentists. According to all the data and information obtained, alternative countries were evaluated for both subjective and objective criteria.

As a result of all evaluations, investment and labor costs, qualified workforce opportunity and country income status were determined as the most important criteria among 17 criteria determined for the global location problem of an oral and dental health clinic. These criteria were followed by the population of the country, operation cost and medical technology criteria. After determining the importance weights of the criteria by using SWARA method, Germany with 0.9845 global dominance score, was found to be the most suitable country for such a center by using TODIM method. The result, which is obtained by TODIM method that is based on the expectation theory and measures the sensitivity of the solution, is compatible with Germany's population, income status, operation, investment and labor costs structure. According to the data obtained, the most suitable cities for this investment that can be made in the global market are Ireland with 0.8467 global dominance score and the Netherlands with 0.6800 global dominance score after Germany.

This study is the first study in the literature for the selection problem of global location in the oral and dental health sector. By establishing a model that does not exist in the literature, the integrated SWARA-TODIM technique has been applied to this problem for the first time in a sectoral sense. This model created can be integrated into different sectors that want to invest in the global market, and the solution technique of the study can guide and be a solution for other MCDM problems.

For elimination of the experienced due transportation problems of existing oral and dental health centers due to the wrong location selections and accordingly the insufficient service capacity problems, in future of increasing the number of these and similar studies will be beneficial for public health. In future studies to be carried out in this context, increasing the number of alternative countries and the number of criteria will support the model. Increasing the number of experts whose knowledge are consulted in the method will provide a significant gain in determining the importance of the criteria. Moreover, the proposed or developed model can be used in both the same and different sectors to make a wider evaluation.

Declaration of competing interest

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

Author's Contributions

Authors contribute equally to the article.

References

Aydoğan EK., Özmen M. Travel and Tourism Competitiveness of Economies around the World Using Rough SWARA and TODIM Method. In: Kavoura A., Kefallonitis E., Theodoridis P. (eds). Strategic Innovative Marketing and Tourism. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer 2020: 765-774.

- Chiu JE., Tsai HH. Applying analytic hierarchy process to select optimal expansion of hospital location: The case of a regional teaching hospital in Yunlin. 10th International Conference on Service Systems and Service Management 2013: 603-606.
- Dahooie JH., Dehghan MM. Proposing a Framework to Rank and Select Volleyball Players using SWARA and TODIM Methods (Case Study: Selected Team of the World in 2015). *Journal of Sport Management* 2018; 10(2): 312-295.
- Eldemir F., Önden I. GIS and multi-criteria decisions integration approach for hospital location selection. *International Journal of Information Technology and Decision Making* 2016; 15(05).
- Frisbee SJ., Chambers CB., Frisbee JC., Goodwill AG., Crout RJ. Association between dental hygiene, cardiovascular disease risk factors and systemic inflammation in rural adults. *American Dental Hygienists' Association* 2010; 84(4): 177-184.
- Gomes LFAM., Lima MMPP. TODIM: Basics and application to multi criteria ranking of projects with environmental impacts. *Foundations of Computing and Decision Sciences* 1992; 16(4): 113–127.
- Guo J., Yin J., Zhang L., Lin Z., Li X. Extended TODIM method for CCUS storage site selection under probabilistic hesitant fuzzy environment. *Applied Soft Computing* 2020; 93: 106381.
- Hosseinpoor AR., Itani L., Petersen PE. Socio-economic inequality in oral healthcare coverage: results from the World Health Survey. *Journal of Dental Research* 2012; 91(3): 275-281.
- Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: An analysis of decision of under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 1979; 47(2): 263-264.
- Kaveh M., Kaveh M., Mesgari MS., Paland RS. Multiple criteria decision-making for hospital location-allocation based on improved genetic algorithm. *Applied Geomatics* 2020; 12: 291–306.
- Kenealy PM., Kingdon A., Richmond S., Shaw WC. The Cardiff dental study: A 20-year critical evaluation of the psychological health gain from orthodontic treatment. *British Journal of Health Psycholog* 2007; 12(1): 17-49.
- Keršulienė V., Zavadskas EK., Turkis Z. Selection of rational dispute resolution method by applying step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics & Management* 2012: 3-6.
- Miç P., Antmen ZF. A Healthcare Facility Location Selection Problem with Fuzzy TOPSIS Method for a Regional Hospital. *European Journal of Science and Technology* 2019; 16: 750-757.
- Mostafaeipour A., Dehshiri SJH., Dehshiri SSH. Ranking locations for producing hydrogen using geothermal energy in Afghanistan. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(32): 15924-15940.
- Mostafaeipour A., Dehshiri SJH., Dehshiri SSH., Jahangiri M. Prioritization of potential locations for harnessing wind energy to produce hydrogen in Afghanistan. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(58): 33169-33184.
- Murray CJ., Callender CS., Kulikoff XR., Srinivasan V., Abate D., Abate KH. Population and fertility by age and sex for 195 countries and territories, 1950–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 2018; 392(10159): 1995-2051.

- Popovic G., Stanujkic D., Brzakovic M., Karabasevic D. A multiple-criteria decision-making model for the selection of a hotel location. *Land Use Policy* 2019; 84: 49-58.
- Rezaeisabzevar Y., Bazargan A., Zohourian B. Landfill site selection using multicriteria decision making: Influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences* 2020; 93: 170-184.
- Ruzgys A., Volvaciovas R., Ignatavicius C., Turskis, Z. Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method. *Journal of Civil Engineering and Management* 2014; 20(1): 103-110.
- Salminen P. Solving the discrete multiple criteria problem using linear prospect theory. *European Journal of Operational Research* 1994; 72: 146-154.
- Sen DK., Datta S., Mahapatra SS. Extension of TODIM combined with grey numbers: an integrated decision making module. *Grey Systems: Theory and Application* 2015; 5(3): 367-391.
- Senvar O., Otay I., Bolturk E. Hospital Site Selection via Hesitant Fuzzy TOPSIS. *IFAC-PapersOnLine* 2016; 49(12): 1140-1145.
- Şahin T., Ocak S., Top M. Analytic hierarchy process for hospital site selection. *Health Policy and Technology* 2019; 8(1): 42-50.
- Ulutas A., Karakus CB., Topal A. Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems* 2020; 38(1): 1-17.
- Zavadskas EK., Stevic Ž., Tanackov I., Prentkovskis O. A novel multicriteria approach- rough step-wise weight assessment ratio analysis method (R-SWARA) and its application in logistics. *Studies in Informatics and Control* 2018; 27(1): 97-106.
- Zolfani SH., Yazdani M, Torkayesh AE., Derakhti A. Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry* 2020; 12(6): 886.
- Wu CR., Lin CT., Chen HC. Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis. *Building and Environment* 2007; 42(3): 1431-1444.
- Wu Y., Zhang T., Xu C., Zhang B., Li L., Ke Y., Yan Y., Xu R. Optimal location selection for off shore wind-PV-sea water pumped storage power plant using a hybrid MCDM approach: A two-stage framework. *Energy Conversion and Management* 2019; 199: 112066.

Sürücülerin Tünel İşletim ve Güvenliği Algısı Üzerine Bir Araştırma

Burak KOÇHAN¹, Emine ÇORUH², Metin Mutlu AYDIN^{3*}

^{1,2}Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55270, Samsun

¹<https://orcid.org/0000-0002-8121-5075>

²<https://orcid.org/0000-0002-3251-9179>

³<https://orcid.org/0000-0001-9470-716X>

*Sorumlu yazar: metinmutluaydin@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.01.2022

Kabul tarihi: 18.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Tünel Güvenliği

İşletim Özelliği

Karayolu Tüneli

Sürücü Özellikleri

Tünelcilik

Tünel, sürücülerin karşılaştıkları arazi kaynaklı engelleri konforlu, güvenli ve kısa sürede aşabilmelerine olanak sağlayan karayolu sanat yapılarından birisidir. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de gün geçtikçe karayollarında yer alan tünellerin sayısında belirgin bir artış görülmektedir. Tünellerin sayısı arttıkça bu tür yol kesimlerinde, efektif tünel işletimi ve güvenliği daha da önemli hale gelmekte ve tünellerde, teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı özellikteki tünel uygulamaları ve işletim özellikleri görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de en fazla tünel bulunan Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan ve tarihi İpekyolu üzerinde bulunan Gümüşhane-Trabzon karayolundaki 19 adet tünel incelenmiştir. Çalışmada, sürücülerin tünel işletim ve güvenlik özellikleri hakkındaki bakış açılarını araştırabilmek amacıyla seçilen tünelleri efektif olarak kullanan sürücüler ile yüz yüze anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasında, sürücülerin tüneller hakkındaki düşünceleri ve tünellerdeki sürüş davranışları yöneltilen sorular ile farklı kaza senaryoları altında incelenmiştir. Yapılan anketlerin değerlendirmesinde faktör analizi, güvenilirlik analizi, Ki Kare ve Bartlett testleri uygulanarak bağımsız değişkenler (cinsiyet, meslek, eğitim, yaş, güzergâh kullanım sıklığı) ile bağımlı değişkenler (katılımcıların acil durumlar karşısındaki bilgi, davranış ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik hazırlanan anket soruları) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tünel kullanım sıklığının artması ile sürücü aşinalığının arttığı ve tünel geçişlerinde araç hızı düşürme oranının azaldığı belirlenmiştir. Yine sonuçlardan, cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında anlamlı bir ilişki olduğu, kadınların erkeklere kıyasla daha fazla tedirginlik hissettiği ve acil bir durum karşısında aracı terk etme ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ($P<0,10$) belirlenmiştir. Kadın sürücülerin daha yüksek oranlarda aracı bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları ve yaşanacak kazalar karşısında, sürücü davranışlarının şeklinin cinsiyete göre farklılık gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen bulgular ile tünel inşa ve işletmesinde iyi bir bilgi birikimine sahip olan ülkemizin, bu konuda Dünya’da daha iyi bir noktada olması hususunda katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

A Study on Drivers' Perception of Tunnel Operation and Safety

Research Article

Article History:

Received: 29.01.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

ABSTRACT

Tunnels are one of the highway structures that allow drivers to overcome the land-based encountered obstacles comfortably, safely and in a short time. As in the rest of the world, there is a significant increase in the number of tunnels on highways in Turkey, day by day. As the number of tunnels increases, effective tunnel operation and safety become more important in

such road sections, and tunnel applications and operating characteristics with different characteristics are seen in tunnels depending on technological developments. Within the scope of this study, 19 tunnels on the Gümüşhane-Trabzon highway, located on the historical Silk Road and located in the Eastern Black Sea Region with the most tunnels in Turkey, were examined. In the study, a face-to-face survey was conducted with the drivers who use the selected tunnels effectively in order to investigate the drivers' perspectives on tunnel operation and safety features. In the survey study, the thoughts of the drivers about the tunnels and their driving behaviors in the tunnels were examined under different accident scenarios with the conducted questionnaire. In the evaluation of the questionnaires, factor analysis, reliability analysis, Chi-Square and Bartlett tests were applied. The relation between independent (gender, occupation, education, age, frequency of route use) and dependent variables (a questionnaire prepared to measure the participants' knowledge, behavior and ability to act in the face of emergencies) were investigated. According to the obtained results, it was determined that with the increase in the frequency of tunnel use, driver familiarity increased and the rate of vehicle speed reduction in tunnel passages decreased. Again, it was determined from the results that there was a significant relationship between gender and the feeling of uneasiness experienced during tunnel passages, that women felt more uneasy than men, and that there was a statistically significant relationship between leaving the vehicle in the face of an emergency and gender ($P < 0.10$). It has been concluded that female drivers tend to leave the tunnel by leaving the vehicle at higher rates and that the type of driver behavior differs according to gender in the face of accidents to be experienced. With the help of obtained findings, it has been tried to contribute to the fact that Turkey, which has a good knowledge in tunnel construction and operation, is in a better place in the world in this subject.

To Cite: Koçhan B., Çoruh E., Aydın MM. Sürücülerin Tünel İşletim ve Güvenliği Algısı Üzerine Bir Araştırma. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 493-516.

1. Giriş

Karayolu tünelleri, karayollarında kesintisiz bir ulaşım imkân sağlayan önemli birer sanat yapılarıdır. Tüneller, dağlık alanların kolaylıkla geçilmesine imkân vermeleri, çevresel zararlı etkilerinin az olması, zamanı ve ulaştırma maliyetlerini aynı anda en aza indiren kısa trafik bağlantıları oluşturmaları nedeniyle hem şehir içi hem de şehirlerarası yollar için hayati bir öneme sahiptir (Ntzeremes ve Kirytopoulos, 2019). Son yıllarda karayolu tünel yapım teknolojisinin gelişmesi ve karayolu geometrik standartlarının artmasıyla birlikte ülkemizde ve dünyada karayolu tünel sayısında ciddi bir artış meydana gelmiştir. Bu artışlarla birlikte, özellikle Avrupa'nın bazı ülkelerinde meydana gelen karayolu tünel kazaları sonucu yaşanan toplu can kayıpları, kaza sonucu ulaşımın aksaması ve onarım çalışmalarının yüksek maliyetleri gibi sebeplerden dolayı karayolu tünel güvenliği konusu gündeme sıkça gelmeye başlamıştır (Koçhan, 2021).

Yapılan araştırmalar karayollarında sürücü davranışı ve algısının, farklı ortamlarda (kavşaklar, farklı yol genişlikleri, yollardaki farklı geometrik özellikler, günün farklı zamanları, farklı aydınlık seviyeleri, farklı hava ve hatta çevrede ağaçlar da dâhil olmak üzere ufak değişikliklerin olması vb.) farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Kircher ve Ahlstrom, 2012; Yeung ve ark., 2013). Özellikle karayolu tünelleri gibi etrafı tamamen kapalı bir yol ortamının farklı sürücü davranışlarıyla sonuçlanması olağan bir durum olabilmektedir. Yine yapısal karmaşıklık ve sınırlı iç alanları

nedeniyle tünel içerisindeki ortam, açık etrafı tamamen açık yollardan tamamıyla farklılık gösterebilmektedir. Tünellerin bu özelliklerinin daha düşük sürüş hızları ve yanal konumlanmalardaki (tünel duvarına mesafe) farklılıklarla ilişkili olarak, artan görsel, zihinsel iş yüküne ve çokça strese neden olduğu bildirilmiştir (Hu ve ark., 2019; Manseer ve Riener 2014; Calvi ve ark., 2012). Bu güvenlik kaygısıyla harcanan çabanın doğal olarak zihinsel yükü ve stresi de arttırdığı belirlenmiştir. Yeung ve ark. (2013) bu durumu inceleyen çalışmalarında tünellerin insanlarda rahatsız edici duygulara ve açık yollara göre daha fazla algılanan riske neden olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar tünellerde mesafenin uzamasına bağlı olarak monotonluk ve bunun sonucunda da dikkat dağınıklığına neden olduğu ve bu durumda sürüşün açık yollara göre daha fazla strese neden olduğunu göstermiştir (Jenssen, 1999; Kvaale ve Lotsberg, 2001; Flø ve Jenssen, 2007). Örneğin Norveç'te yar alan Dünya'nın en uzun tek tüplü karayolu tüneli (24,5 km) olan Laerdal Tüneli planlanırken aydınlatma türü ve yapılarının monotonluk, dikkat dağınıklığı ve stres üzerine nasıl etkileyeceğini önceden bilerek; çözüm geliştirebilmek amacıyla bir simülasyon çalışması yapılmış ve bu duruma göre tünel işletim planı geliştirilmiştir (Koçhan, 2021). Bir başka çalışmada ise tünel geçişlerinde yatay ve dikey işaretlemelerin sürücü algısı ve davranışı üzerine etkisi yine araç simülasyonu yardımıyla incelenmiştir. Bu amaçla Manser ve Hancock (2007) çalışmasında, kullanılan işaretlemelerin genişliği ve uyandırdıkları hisse bağlı olarak sürücülerin hızlarını azalttıkları veya arttırdıkları sonucuna ulaşmıştır. Karayolu tünellerinin kapalı ortamlar oluşu, özellikle karanlıktan aydınlığa ve aydınlıktan karanlığa geçişlerin yaşanmasına ve doğal olarak sürücüler üzerinde baskı ve strese neden olmaktadır. Bu stres, sürücüler üzerinde olumsuz etkiler oluşturabildiği gibi sürücünün dikkatinin artırması gibi olumlu etkiler de gösterebilmektedir. Bu durumu incelemek için Calvi ve De Blasiis (2011) sanal gerçeklikte ileri sürüş simülasyonu teknolojisini kullanarak tünel etkisinin sürüş performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, sürüş simülasyonunda altı adet (her biri çift tüplü) tüneli olan İtalya'daki otoyolun gerçek bir bölümü (8500 m'lik) yeniden simüle edilmiştir. Simülasyon çalışmasına; yaş aralıkları 23-36 arasında değişen ve sürüş deneyimi olan 20 kişi tabii tutulmuştur. Sürüş testlerine başlamadan önce sürücülere simülasyon hakkında 20 dakikalık eğitim verilmiş ve simülasyonda her bir sürücü üzerinde iki senaryo belirli aralıklar ile gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda simüle edilen düz yol kesitinde sürüş, ikinci senaryoda ise aynı yol kesitinde belirli aralıklarda yerleştirilen tünellerin de bulunduğu güzergâhta sürüş gerçekleştirilmiştir. İki senaryoda kayıt altına alınarak 20 sürücünün hızı, ivmesi ve yanal konumu kaydedilmiştir. Sonuç olarak; sürücülerin tünel içinden geçerken sağ tünel duvarından yanal olarak uzaklaştıkları ve biraz yavaşladıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca tünel içinde, sürücülerin dikkat seviyesinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışmada ise Calvi ve D'Amico (2013), ileri sürüş simülasyonu teknolojilerini kullanarak sürüş performansı ve güvenliği üzerinde tünel etkilerini incelemiştir. Çalışmada, mevcut üç farklı otoyolun sekiz bölümünden oluşan bir otoyol senaryosu, sürüş simülasyonunda canlandırılmıştır. Senaryo üzerindeki tüneller mevcut olan tünellerle (İtalya) aynı geometrik standartları sağlayacak şekilde simüle edilmiştir. Simülasyon uygulamalarına katılan her bir

sürücü, aynı güzergâhta tünellerin bulunduğu ve bulunmadığı iki senaryoda ayrı ayrı sürüş yapmışlardır. Böylelikle iki senaryoda kaydedilen hızlar, ivme ve yanal pozisyon farkları ile karayolu tünellerindeki sürücü performansı hakkındaki verilere ulaşılmıştır. Sonuç olarak çalışmada, sürücülerin bir tünelden geçtiklerinde sürüşün, şerit içerisinde değiştiği ve tünel yan duvarından yol merkezine doğru yöneldiği görülmüştür. Ayrıca tünel içerisinde, yavaşlamaların olduğu ve sürücü dikkatinin arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Mevcut bu çalışmalar karayolu güzergahlarında, artan tünel sayısı ve uzun mesafeli tünellerden dolayı daha fazla dikkat edilmesi ve bu kesimlerdeki sürücü davranışlarının daha detaylı olarak irdelenmesi gerektiği ön plana çıkmıştır (Calvi ve ark., 2012; Aydın ve ark. 2020).

Mevcut çalışmalara göre tünel kullanım sıklığının, sürücüler üzerinde gösterdiği etkiler üzerinde yapılan çalışmalarda; tünellerde sürüşün, açık yollara göre daha fazla stresli olduğu bulunmuştur (Koçhan, 2021). Bu stresin, yol güvenliği üzerinde olumsuz etkisi olan zihinsel iş yükünü artırdığı açıklanmıştır. Bu çalışmaların çoğu, yüksek zihinsel iş yüküyle, sürüş performansının kötüleştiğini, reaksiyon sürelerinin arttığını, görsel algılamının bozulduğunu, yol taramasının azaldığını ve sert fren olaylarının sayısının arttığını göstermiştir (Cantin ve ark., 2009; Harbluk ve ark., 2007; Lee ve ark., 2007; Recarte ve Nunes, 2002; Stinchcombe ve Gagnon, 2010). Yeung ve ark. (2013), tünellerde sürücülerin davranışlarını incelemiş, normal karayollarına göre araç takip aralıklarının, tünel içerisinde daha fazla bırakıldığını bulmuş ve sürücülerin tünel içerisinde daha temkinli davrandıklarını açıklamışlardır. Bunun yanı sıra tünel kullanım sıklığının, olumlu bir etki oluşturmadığını ve tünel ortamındaki ilk izlenimlerin zamanla korunduğu ve değişmediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, kapsamlı araştırmalar, farklı ülkeler ve kültürler arasında sürücü tutumlarında farklılıklar olduğunu göstermiştir (Yeung ve ark., 2013). Bir diğer çalışmada Hu ve ark. (2019) rota aşinalığının, sürüş sırasında farklı mekânsal- görsel koşullara sahip karayolu tünellerinin giriş bölgelerinde sürücülerin göz hareketleri ve sürüş hızlarını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Çalışmada aynı karayolu üzerinde bulunun ve farklı mekânsal ve görsel koşulları olan iki karayolu tüneline seçmişlerdir. Test için seçilen tünellere aşina olan 16 tanıdık sürücü (en az 3 yıllık sürüş deneyimi olan 8 kadın ve 8 erkek) dâhil olmak üzere toplam 32 (16 kadın ve 16 erkek) katılımcı çalışmaya dâhil edilmiştir. Başa takılan göz izleme sistemi, göz hareketlerini izlemek için kullanılmıştır. Deney aracı olarak beş kişilik otomatik şanzımanlı bir otomobil kullanılarak karayolu tünellerinin girişinde yol testleri yapılmıştır. Sonuçlar; rota aşinalığının, sürücülerin görsel özelliklerini ve hızını etkilediğini göstermiştir. Tünel girişinden geçerken, rota aşinalığı az olan sürücülerin, görsel özelliklerinin etkilendiği mesafe, rota aşinalığı yüksek oranlı sürücülerden daha fazla olarak bulunmuştur. Bu sonuç tünellerdeki yolculuklarda rota aşinalığının stres ve sürücü davranışı üzerinde ne kadar etkili olduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur.

Mevcut çalışmalar tünellerde bir kazanın meydana gelme riskinin, etrafı açık bir karayoluna nazaran daha az olacağını fakat oluşacak kazanın şiddetinin maalesef açık yola göre daha fazla olacağına net şekilde ortaya koymuştur (Amundsen, 1994; Amundsen ve Ranes, 2000; Lemke, 2000; Leitner, 2001;

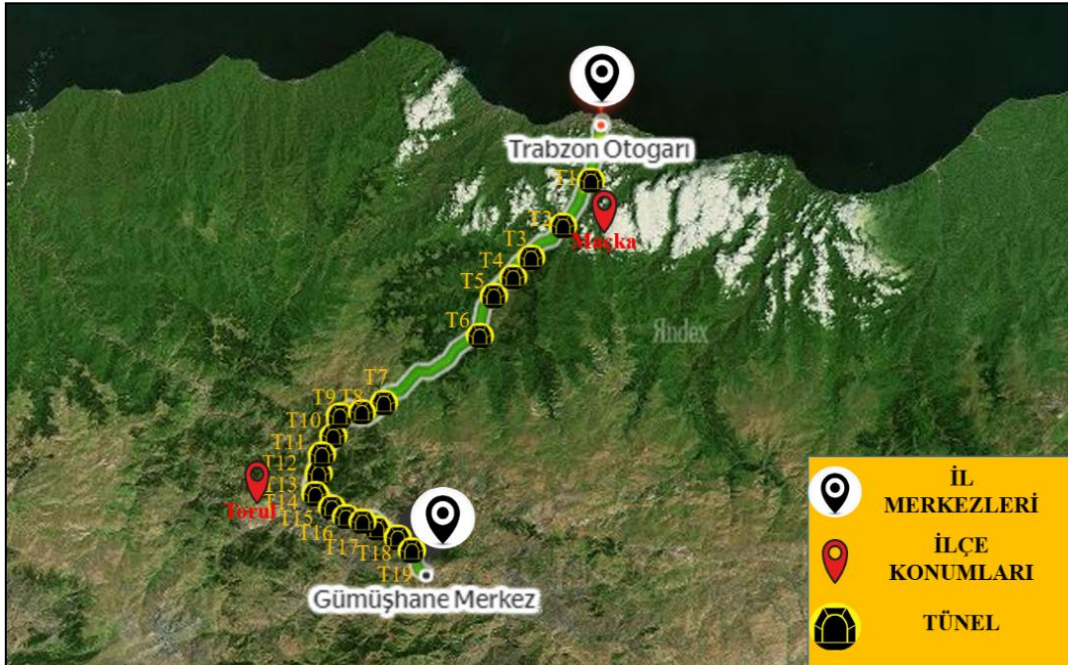
Kirkland, 2002; Mashimo, 2002; Carvel ve Marlair, 2005; Kircher ve Ahlstrom, 2012). Dolayısı ile yaşanacak en küçük bir olumsuzluk durumunda kötü sonuçlar almamak için tünellere, çok daha fazla önem verilmesi gerektiği ön plana çıkmaktadır (Kircher ve Ahlstrom, 2012). Tünellerdeki mevcut kaza istatistiklerine bakıldığında tünellerin giriş bölgesinde kaza riskinin, tünel iç kesimlerine oranla daha fazla olduğu belirlenmiş; (Yan ve ark., 2008) ister iki yönlü ister tek yönlü trafik olan tünellerde, en yüksek kaza oranlarının giriş ve çıkış alanlarında olduğu rapor edilmiştir (Nussbaumer ve Nitsche, 2008). Yine yapılan bir araştırmadan iki yönlü trafiğe sahip tünellerde yaralanma veya ölme olasılığının, tek yönlü trafiğe sahip tünellerle kıyaslandığında %19 oranında daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Robatsch ve Nussbaumer, 2004).

Tünellerde meydana gelen kazalar sonucu ortaya çıkan bir diğer olumsuz durumda tünel içi yangınlardır. İnsanların ciddi şekilde yaralanmasına ve ölmesine neden olan tünellerde meydana gelen yangınların bazılarının; Azerbaycan, İngiltere, Fransa, İtalya, Japonya, Kanada, Avusturya ve ABD’de meydana geldiği bilinmektedir (Haack, 2002). Örneğin, 1999 yılında Fransa’da Mont Blanc tüneline 39 ve Avusturya’da Tauern tüneline 12 kişinin ölümü ile sonuçlanan iki yangın meydana gelmiştir. Mont Blanc tüneline 53 saat sürmüş; ölen 39 kişiden 29’u araçlarında, dokuz tanesi ise tünel içinde veya yeterli koruma sağlamayan güvenlik odalarında bulunmuştur. Bu olaydan sadece iki ay sonra 6400 m uzunluğundaki Tauern tüneline de bir yangın meydana gelmiştir. Daha sonra 2001 yılında her ikisi de tek yönlü iki yönlü trafiğe sahip olan, Avusturya’daki 8,3 km uzunluğundaki Gleinalm tüneline ve İsviçre’de yaklaşık 17 km’lik Gotthard tüneline yangın felaketleri meydana gelmiştir. İki olayda da kafa kafaya çarpışma ile meydana gelen kazalar sonucunda tünellerde yangınlar başlamıştır (Haack, 2002). Yapılan araştırmalardan özellikle son 15 yılda, ciddi tünel yangınlarında, önemli bir artış olmuş ve maalesef birçoğunun ölümüyle sonuçlandığı belirlenmiştir. Bu durum muhtemelen yıllar boyunca trafikteki araç sayısında ve özellikle tünellerden geçen ağır taşıt trafiğindeki artış ile ilgilidir. Yine araştırmalardan tünellerde meydana gelen ölümlerin 2/3’ünün trafik kazalarıyla ve çoklu ölümlerin ise yangınlarla ilişkili olduğu görülmüştür. Karayolu tünel yangınlarındaki ölümlerin, ağır yük taşıtları ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve Avrupa’daki tünel yangınlarındaki ölümlerin yaklaşık %71’inin ağır taşıt içeren yangınlardan kaynaklı olduğu açıklanmıştır (Beard, 2010). Almanya’daki Elbe Tüneli kaza istatistiklerine göre, kamyonların daha yüksek yangın riskine sahip olmalarının yanı sıra kazalara aşırı orantılı katılımları nedeniyle otomobillerden daha fazla tehlikeli oldukları görülmüş ve bu hususa dikkat çekilmiştir (Beard, 2010). Tünel işletimi ve güvenliği üzerine yapılan araştırmalar irdelendiğinde, tünellerin etkin işletimi için tünel güvenliği ve işletimi planlamalarının oldukça önemli olduğu açıkça görülmektedir. Mevcut çalışmalardan özellikle tünellerde birçok farklı nedenden kaynaklı trafik kazalarının meydana geldiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu araştırmalar irdelendiğinde, daha çok tünellerdeki mevcut durumun (kaza istatistikleri, güvenlik altyapısı, tünel karakteristikleri, kaza sonrası durum vb.) irdelendiği görülmüş; tünel güvenliğine sürücülerin bakışı ve sürücü beklentilerine yönelik bir çalışmanın mevcut olmadığı belirlenmiştir. Bu kapsamda çok kısa mesafe aralıklara art arda bulunan ve içerisinde uzun tünellerin

bulunduğu bir yol ağı üzerinde yer alan tünellerde, tünel güvenliği ve işletimi sürücülerin bakış açısından incelenmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda sürücülerin tünel güvenliğine bakışı ve acil durumlarda tünellerde sürücü davranışlarının nasıl olacağı, sürücü beklentileri ve sürücülerin bakış açılarına gerekli olan özellikler seçilen 19 tünel özelinde detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla incelenen tünelleri kullanan 447 sürücü ile yüz yüze bir anket çalışması yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Böylece, farklı özellikte sürücü karakteristiklerine ulaşılarak literatürde bu alandaki önemli bir boşluk doldurulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, Trans Avrupa Karayolu Ağı'nın Türkiye sınırları içerisinde kapsadığı ağı parçası olan ve tarihi İpek Yolu üzerinde yer alan Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde bulunan ve Şekil 1'de güzergâhı verilen 19 adet tünelin bulunduğu yol kesimi incelenmiştir. Trabzon-Gümüşhane uluslararası karayolu (E-97, D885), Trabzon ve Gümüşhane illerini birbirine bağlamakta ayrıca Doğu Karadeniz ve Kafkasları, Ortadoğu ve İran'a bağlayan Tarihi İpek Yolunun yaklaşık 100 km'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Ulaşım süresi, araçla yaklaşık 1 saat 30 dakika sürmektedir. Özellikle son yıllarda artan nüfus, sosyo ekonomik-kültürel gelişim ve artan ticari ilişkiler Trabzon-Gümüşhane karayolunun önemini daha da artırmaya başlamıştır. Karadeniz bölgesinin arazi yapısının zorlu özelliği olarak, yol güzergâhı eğimli ve oldukça fazla kurplu kesimleri bünyesinde barındırmaktadır. Son yıllarda tüneller alanında kazanılan deneyim sonrası, ülke genelinde artan tünel sayısına paralel olarak Trabzon-Gümüşhane karayolundaki tünel sayısında da artış yaşanmıştır.



Şekil 1. Trabzon-Gümüşhane karayolu ulaşımında kullanılan 19 adet tünelin konumları
Trabzon-Gümüşhane karayolu, üstyapı satıh durumu olarak tamamı bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalı olup Trabzon-Maçka ve Torul-Gümüşhane arası 2x2 bölünmüş yol standardındadır. Karayolunun BSK olarak neredeyse tamamı aşınma tabakası seviyesinde tamamlanmıştır. Dünyadaki

pek çok ülke gibi Türkiye’de de tünelli geçişler artmaya başlamıştır. Bu çalışmada arazinin topoğrafik zorluklardan dolayı tünellerin en çok tercih edildiği güzergâhlardan biri olan Trabzon-Gümüşhane karayolu ve üzerinde yer alan 19 adet tünel seçilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İncelenen tünellere ait yapısal özellikler

| No | Tünelin adı | Bulunduğu yolun adı | Kontrol Kesim No | Başlangıç Km. | Tüp Adedi | Uzunluğu (m) Sol/Sağ | Yapım Yılı |
|----|---------------------------------------|---|------------------|---------------|-----------|----------------------|------------|
| 1 | Şehit Eren Bülbül Tüneli (Deliklitaş) | Trabzon-Gümüşhane (Trabzon-Erzurum) | 885-01 | 3+880 | 2 | 1283 / 1330 | 2013-2016 |
| 2 | Yeni Maçka Tüneli | (010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn. | 885-01 | 25+800 | 2 | 2783 / 2837 | 2018 |
| 3 | Bağışlı Tüneli | (010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn. | 885-01 | 31+600 | 1 | 760 | 2019 |
| 4 | T1 Tüneli (Maçka) | (010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn. | 885-01 | 31+750 | 1 | 1480 | 2018 |
| 5 | T2 Tüneli (Maçka) | (010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn. | 885-01 | 34+230 | 1 | 1100 | 2019 |
| 6 | Zigana Tüneli | (010-21/22) D.Y.A.(D.Dere Köp.)- (Trab-Gümüş.) İl Sn. | 885-02 | 2+000 | 1 | 1702 | 1988 |
| 7 | Kürtün Kavşağı Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 18+500 | 2 | 916 / 618 | 2013 |
| 8 | Köprübaşı Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 20+600 | 2 | 589 / 568 | 2013 |
| 9 | Torul Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 24+200 | 2 | 1103 / 1061 | 2013 |
| 10 | Harmancık Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 27+500 | 2 | 145 / 205 | 1995-2015 |
| 11 | Taşocağı Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 35+400 | 2 | 660 / 680 | 2015 |
| 12 | Mescitli-1 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 36+500 | 2 | 201 / 226 | 1995 |

| | | | | | | | |
|----|--------------------------|--|--------|--------|---|------------|------|
| 13 | Mescitli Varyant2 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 38+600 | 2 | 1660 / 285 | 2016 |
| 14 | Mescitli-2 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 39+100 | 1 | 395 | 1995 |
| 15 | K3 Kolu Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 40+200 | 1 | 202 | 2016 |
| 16 | Hacıemin-1 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 41+800 | 1 | 84 | 1997 |
| 17 | Hacıemin-2 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 42+647 | 1 | 141 | 1995 |
| 18 | Hacıemin-3 Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 43+150 | 1 | 210 | 1995 |
| 19 | Gümüşhane Tüneli | Trabzon-Gümüşhane İl Sn.-Kelkit (885-03) D.Y.A | 885-02 | 44+800 | 1 | 323 | 1992 |

Not: D.Y.A: Devlet Yol Ayrımı, İl Sn.: İl Sonu

Tablo 1’de özellikleri verilen 19 adet tüneli kullanan sürücülerin, tünel içerisindeki sürüş davranışlarını ve beklentilerini inceleyebilmek amacıyla yüz yüze anket çalışması yürütülmüştür. Böylece incelenen tünelleri kullanan sürücülerin davranışları ve beklentilerine yönelik detaylı bilgilere ulaşılmış olacaktır. Anket çalışması kapsamında doğru hedef kitleye ulaşılması amacıyla ankete katılan kişiler incelenen tünelleri kullanan ve bu tünellere aşına olan sürücüler arasından seçilmiştir. Yapılan anket çalışması ile öncelikle sürücülere ait karakteristik özellikler belirlenmiştir. Sonrasında ise sürücülere tünel güvenliği ve tünellerde karşılaşılabilecekleri durumlarda nasıl davranacaklarına yönelik sorular yöneltilmiştir. Bu kapsamda sürücüler üzerinde, “Karayolu tünellerinde sürücü davranışı ve acil durumlar (trafik kazası, yangın) karşısında sürücülerin bilgi ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik anket” başlıklı bir anket çalışması yapılmıştır. Anket için belirlenen sorular, karayolu tünel kullanıcısı olan sürücülerin algı, davranış ve hareket etme kabiliyetini belirleyecek şekilde gözlemlenen sorunlar düşünülerek hazırlanmıştır. Yapılan anketlerin değerlendirmesinde faktör analizi, güvenilirlik analizi, Ki Kare ve Bartlett testleri uygulanarak gruplar arası anlamlılık ilişkileri araştırılmıştır. Anket çalışmasının örneklem büyüklüğü ise Denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$n = \frac{t^2 * p * q}{d^1} \quad (1)$$

Burada;

- p : İncelenecek olayın görülme sıklığı,
 q : İncelenecek olayın görülmemeye sıklığı,
 t : Belirlenmiş bir anlamlılık düzeyi ile t tablosundan elde edilen teorik değer,
 d : Olayın görülme sıklığına göre kabul edilen örnekleme hatasıdır.

Dağılım homojen olmadığı için $p= 0,50$, $q= 0,50$ alınmıştır. %95 güven aralığı için teorik t değeri 1,96 olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Denklem 1 yardımıyla minimum örneklem büyüklüğü $n=384$ kişi olarak hesaplanmış ve bu sayıya uygun şekilde yeterli örnekleme ulaşılmıştır.

Anket çalışması kapsamında veriler 2019 ekim ve 2020 şubat ayları arasında toplanmıştır. Gümüşhane ve Trabzon arası seyahat eden ve bu yol güzergâhında yer alan tünelleri kullanan 491 kişi üzerinde anket yapılmış ve tüm sorulara eksiksiz cevap verilen toplam 447 adet anket değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmada bağımsız değişkenlerin (cinsiyet, yaş, eğitim, meslek ve güzergâh kullanım sıklığı vb.) bağımlı değişkenler (belirlenen anket soruları) ile istatistiksel açıdan anlamlılık ilişkileri güvenilirlik, Ki-Kare (χ^2) ve Bartlett testleri yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

3. Analiz ve Bulgular

Tanımlayıcı İstatistikler

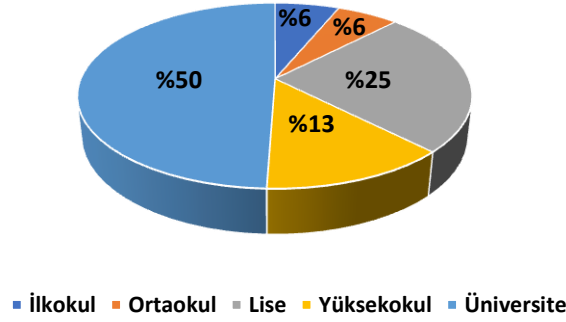
Analizler kapsamında Trabzon-Gümüşhane karayolunu kullanan sürücüler üzerinde yapılan anket çalışması ile toplanan saha verileri detaylı olarak incelenerek analiz edilmiştir. Değerlendirmeye alınan 447 ankete göre, katılımcıların cinsiyet dağılımı 343 erkek (%77) ve 104 kadın (%23) olarak elde edilmiştir. Anket gerçekleştirilen sürücülerin, yaş dağılımları ise Tablo 2’de verilen şekilde elde edilmiştir.

Tablo 2. İncelenen katılımcıların (sürücülerin) Cinsiyet-Yaş gruplarına göre dağılımı

| Cinsiyet | Yaş Grupları | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|--------------|------------|-----------|----------|---------------------|
| | 18-30 | 31-45 | 46-65 | 65 üstü | |
| Erkek | 155 | 145 | 42 | 1 | 343 |
| Kadın | 56 | 37 | 9 | 2 | 104 |
| Toplam (Σ) | 211 | 182 | 51 | 3 | 447 |

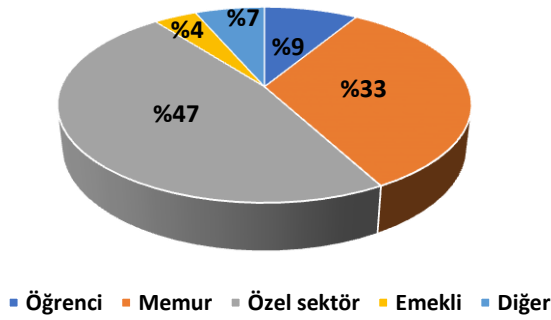
Tablo 1’de verilen sonuçlar irdelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun TÜİK (2020) istatistiklerinde verilen ve mevcut durumdaki sürücü çoğunluğunun sahip olduğu 18-45 yaş (%88) aralığında dağıldığı ve cinsiyet dağılımının da ülkemizdeki oranına yakın olduğu görülmektedir (TÜİK, 2020). Ankete katılan sürücülerin eğitim durumları ve meslek dağılımları incelendiğinde ise Şekil 2’de verilen sonuçlara ulaşılmaktadır.

Eğitim Durumu Dağılımı



(a)

Meslek Durumuna Göre Dağılım

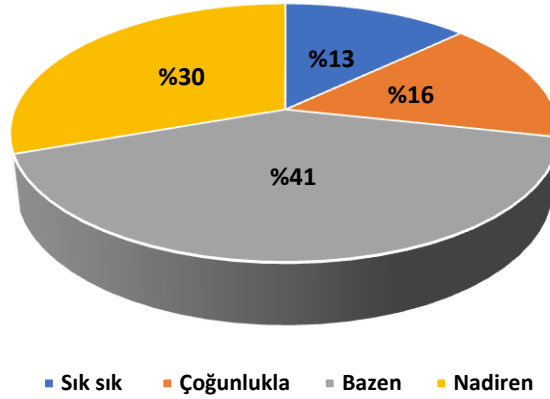


(b)

Şekil 2. Katılımcıların (a) eğitim ve (b) meslek durumlarına göre dağılımları (%)

Şekil 2’de verilen sonuçlara göre katılımcıların yaklaşık olarak yarıya yakınının üniversite mezunu olduğu (227 kişi) belirlenmiştir. Yine şekilden elde edilen bulgulara göre katılımcıların büyük çoğunluğunun özel sektörde çalıştığı (%47) sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın en önemli amaçlarından birisi olan karayolu tünellerine sürücülerin bakış açılarını etkin şekilde belirleyebilmek amacıyla, sürücülere tünellerin yer aldığı bu güzergâhı kullanım sıklığı sorusu yöneltilmiş ve Şekil 3’te verilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3’e göre katılımcıların tamamının belirtilen güzergâhı farklı sıklıklarda olsa da kullandıkları görülmüştür. Yine Şekil 3 detaylı olarak irdelendiğinde katılımcıların yaklaşık olarak 1/3’ünün tünellerin olduğu bu güzergâhı etkin şekilde kullandıkları belirlenmiştir.

Güzergâh Kullanım Sıklığı Dağılımı



Şekil 3. Katılımcıların incelenen güzergâhı kullanım sıklığının dağılımı (%)

3.1. Güzergâh Kullanım Sıklığı ile Tünellerdeki Hız Arasındaki İlişki

Çalışmanın en önemli hedeflerinden birisi olan güzergâh kullanım sıklığının sürücülerin tünel geçişlerindeki hız üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığının araştırmak amacıyla anket sonucu elde edilen verilere Ki-Kare testi yapılarak irdelenmiştir. Analiz sonucunda Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,030$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması, güzergâh kullanım sıklığının tünel geçişlerindeki araç hızı üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Tablo 2'de farklı güzergâh kullanım sıklığına sahip katılımcıların “Soru-1: karayolu tünel girişine yaklaştığınızda araç hızını düşürüyor musunuz” sorusuna verdikleri cevaplar ile tünellerde araç kullanım hızlarına ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3'te verilen yanıtlara göre güzergâh kullanım sıklığının artması, sürücülerin tünellere olan aşinalığını artırdığı ve dolayısıyla tünel geçişlerinde araç hızını düşürme oranının azaldığı görülmüştür.

Tablo 3. Sürücülerin “Tünel girişlerine yaklaştığınızda araç hızını düşürüyor musunuz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

| Hız Azaltma Sıklığı | Güzergâh Kullanım Sıklığı | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | Günde bir kez veya daha fazla | Haftada birkaç kez | Ayda birkaç kez veya daha az) | Yılda birkaç kez veya daha az | |
| Hiçbir zaman | 4 | 3 | 4 | 5 | 16 |
| Arada bir | 4 | 12 | 8 | 11 | 35 |
| Bazen | 9 | 16 | 26 | 21 | 72 |
| Çoğu zaman | 20 | 14 | 67 | 39 | 140 |
| Her zaman | 21 | 24 | 79 | 60 | 184 |
| Toplam (Σ) | 58 | 69 | 184 | 136 | 447 |

3.2. Cinsiyet ile Tünel Geçişlerindeki Tedirginlik Hissi Arasındaki İlişki

Karayolu tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissinin cinsiyet ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığını araştırmak için anket sonucu elde edilen veriler yine Ki Kare testi yapılarak incelenmiştir. Analiz sonucunda Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,004$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması; cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkisi olduğu sonucunu göstermiştir. Tablo 4'te kadın ve erkek katılımcıların “Soru-2: Tünel girişine yaklaştığınızda tedirginlik hissediyor musunuz?” sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir. Tablo 4'ten de görüldüğü üzere kadın sürücülerin (%31) erkek sürücülere (%28) göre tünel geçişlerinde daha fazla tedirginlik hissettiklerini bildirdikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4. Sürücülerin “Tünel girişine yaklaştığınızda tedirginlik hissediyor musunuz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

| Cinsiyet | Tedirginlik Hissetme Durumu | | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|------------|--------------|-------------------------|---------------------|
| | Kesinlikle Hissetmiyorum | Hissetmiyorum | Kararsızım | Hissediyorum | Kesinlikle hissediyorum | |
| Kadın | 12 | 48 | 12 | 26 | 6 | 104 |
| Erkek | 96 | 132 | 18 | 84 | 13 | 343 |
| Toplam (Σ) | 108 | 180 | 30 | 110 | 19 | 447 |

3.3. Açık Karayolundan (Aydınlıktan), Tünele (Karanlığa) ve Tünelden (Karanlıktan), Açık Karayoluna (Aydınlığa) Geçişlerdeki Görüş Problemleri İlişkisi

Katılımcıların, açık karayolundan (aydınlık kesimden), tünele (karanlığa) ve tünelden (karanlıktan), açık karayoluna (aydınlık kesime) geçişlerde, görüş problemlerini incelemek üzere ordinal (sıralama) ölçekli değişkenlerin (1-Hiçbir zaman, 2-Arada bir, 3-Bazen, 4-Çoğu zaman, 5-Her zaman) ölçülmek istenen olguyu başarılı şekilde ölçüp ölçmediğini araştırmak için güvenilirlik analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Cronbach' Alpha katsayısı 0,808 olarak bulunmuş ve değer 0,700'den büyük olması kullanılan ölçeğin güvenilir olduğunu göstermiştir. Tablo 5'te ise farklı yaş gruplarındaki katılımcıların “Soru-3: Açık karayolundan (aydınlık kesimden), tünele (karanlık kesime) geçişlerde görüş problemi yaşıyor musunuz?” sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir.

Tablo 5. Katılımcıların “Aydınlık kesimden karanlık kesime (tünele) geçişlerde görüş problemi yaşıyor musunuz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

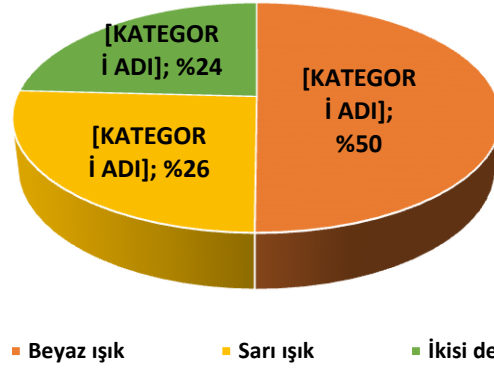
| Yaş Dağılımı | Görülme Sıklığı | | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|---------------------|
| | Hiçbir zaman | Arada bir | Bazen | Çoğu zaman | Her zaman | |
| 18-30 | 58 | 54 | 64 | 24 | 11 | 211 |
| 31-45 | 38 | 45 | 59 | 21 | 19 | 182 |
| 46-65 | 24 | 6 | 17 | 4 | 0 | 51 |
| 65 üstü | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| Toplam (Σ) | 122 | 105 | 140 | 49 | 31 | 447 |

Mevcut literatür çalışmalarına göre karayolunda açık kesimlerden (aydınlıktan), tünele (karanlığa) geçişlerde, tünelden (karanlıktan), açık karayoluna (aydınlığa) geçişlere oranla daha fazla görüş problemi yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır (Liu, 2005; Wenga ve ark., 2017). Tablo 5’te verilen analiz sonuçlarına göre literatür sonuçlarına uygun olarak, açık karayolundan (aydınlıktan) tünele (karanlığa) geçişlerdeki görüş probleminin, tünelden (karanlıktan) açık karayoluna (aydınlığa) geçişlere nazaran daha fazla yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla tünel aydınlatma tasarımlarında, giriş kısmına daha fazla dikkat edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

3.4. Tünel Aydınlatmasında Kullanılan Işık Renk Tercihi

Katılımcıların, tünel aydınlatması hakkındaki görüşlerini belirlemek amacıyla, “Soru-4: Aydınlatmada hangi renkte ışık kullanılması sizi güvende hissettirir?” sorusu yöneltilerek elde edilen bulgular Şekil 4’te verilmiştir. Katılımcılardan, 224 kişi (%50) beyaz ışık, 115 kişi (%26) sarı ışık ve 108 kişi (%24) de her iki renkte de kendilerini güvende hissettiklerini belirtmişlerdir. Bu cevaplardan hareketle; tünel aydınlatmasında kullanılan ışık renginin beyaz olması, literatürde de tavsiye edilen (Liang ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2020) açık renk tonunun artmasının, sürücülere daha güvende hissettirdiği sonucu ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla tünellerde yeni nesil açık renkli LED sistemlerin kullanılmasının sürücülere daha güvenli görüş sağlayacağı kanısına varılmış ve bu hususun önemine sürücüler tarafından dikkat çekilmiştir.

Tünel Aydınlatmasındaki Renk Tercihleri

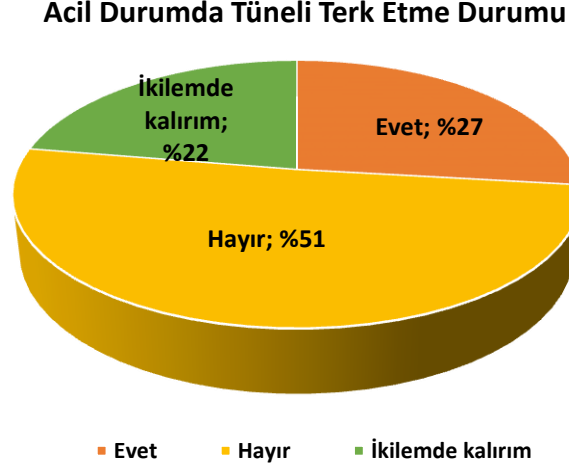


Şekil 4. Sürücülerin tünel aydınlatmasındaki tercihlerinin dağılımı

3.5. Acil Durumlar Karşısında Sürücü Davranışları

Anket çalışması kapsamında bu bölümde, sürücülerin özellikle acil durumlardaki (yangın ve kaza için) davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, sürücülerin kaza ve yangın durumundaki davranışları farklı parametreler altında aşağıdaki sorular yöneltilerek belirlenmeye çalışılmıştır.

Kaza veya yangın durumlarındaki davranışlar: Şekil 5’te görüldüğü üzere katılımcılara yöneltilen “Soru-5: Tünellerde yaşanabilecek kaza ve yangınlarda aracınızı bırakarak tüneli terk eder misiniz” sorusuna 227 kişi (%51) hayır, 120 kişi (%27) evet ve 100 kişi (%22) ise ikilemde kalacağı yönünde cevap vermiştir. Katılımcıların, yarısından fazlasının araçlarını bırakmak istemediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5. Sürücülerin acil durumlarda tüneli terk etme durumunun dağılımı

Ayrıca acil durumlarda aracı bırakarak tüneli terk etme ile cinsiyet arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını araştırmak için Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050’den küçük olması, cinsiyet ile aracı bırakma arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Tablo 6’da görüleceği üzere acil durumlarda kadın sürücülerin (%36) erkek sürücülere (%24) kıyasla daha yüksek oranda araçlarını bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları belirlenmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların cinsiyetlerine göre “Acil durumlarda aracınızı bırakarak tüneli terk etmek ister misiniz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

| Cinsiyet | Katılımcı Yanıtları | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|---------------------|------------|------------------|---------------------|
| | Evet | Hayır | İkilemde kalırım | |
| Kadın | 37 | 35 | 32 | 104 |
| Erkek | 83 | 192 | 68 | 343 |
| Toplam (Σ) | 120 | 227 | 100 | 447 |

Düşük şiddetli araç yangınları karşısındaki davranışlar: Tünel geçişlerinde düşük şiddetli araç yangınlarında sürücülerin doğru davranış bilgisine sahip olup olmadığını belirlemek için katılımcılara, “Soru-6: Tünel içerisinde aracınızda düşük şiddetli bir yangının meydana gelmesi durumunda ne yaparsınız” sorusu yöneltilmiştir. Tablo 7’den görüleceği üzere katılımcılardan, sadece 57 kişinin

(%13) doğru davranış biçimi olan aracı tünel dışına sürerek, tünel çıkışı motoru tamamen kapatırım seçeneğini işaretledikleri görülmüştür. Ayrıca düşük şiddetli araç yangını karşısındaki davranış ile eğitim seviyesi arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını araştırmak için Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square (χ^2) anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması, eğitim ile istenilen doğru davranış arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Tablo 7. Katılımcıların “Aracınızda düşük şiddete bir yangın meydana gelmesi durumunda ne yaparsınız?” soruna ait yanıtlarının dağılımı

| Eğitim Durumu | Sürücü Davranışı | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|---|---|---|--|---------------------|
| | Hemen durdurup, motoru tamamen kapatırım. | Tünel içerisindeki sığınma cebinde aracı durdurup, motoru tamamen kapatırım | Aracı tünel dışına doğru sürer, tünel çıkışı motoru tamamen kapatırım | Yoluma devam ederek tünelden çıkmaya çalışırım | |
| İlkokul | 4 | 16 | 0 | 8 | 28 |
| Ortaokul | 4 | 14 | 6 | 3 | 27 |
| Lise | 22 | 70 | 12 | 9 | 113 |
| Yüksekokul | 10 | 37 | 6 | 5 | 58 |
| Üniversite | 62 | 118 | 33 | 8 | 221 |
| Toplam (Σ) | 102 | 255 | 57 | 33 | 447 |

Trafik kazası veya yangın ile karşılaşmanız durumundaki davranışlar: Katılımcılara “Soru-7: Araçlarınız ile tünel içerisinde bir kaza veya yangın ile karşılaşmanız durumunda davranışınız ne olur” sorusu sorulmuştur. Tablo 8’de görüldüğü üzere katılımcılardan, 331 kişi acil çağrıda bulunmayı, 78 kişi yangına müdahale etmeyi, 22 kişi kaçmaya çalışmayı ve 16 kişi de arabada kalmayı tercih edeceklerini bildirmişlerdir. Ayrıca cinsiyet ile davranış arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek üzere Ki Kare testi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050’den küçük olması, cinsiyet ile davranış arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Tablo 8. Katılımcıların “Bir kaza veya yangın ile karşılaşmanız durumunda davranışınız ne olur?” sorusuna ait yanıtları

| Cinsiyet | Sürücü Davranışı | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--|---------------------|
| | Arabada Kalırım | Kaçmaya Çalışırım | Acil Çağrı Yaparım | Yangına Söndürmek için Müdahale Ederim | |
| Kadın | 7 | 14 | 75 | 8 | 104 |
| Erkek | 9 | 7 | 257 | 70 | 343 |
| Toplam (Σ) | 16 | 21 | 332 | 78 | 447 |

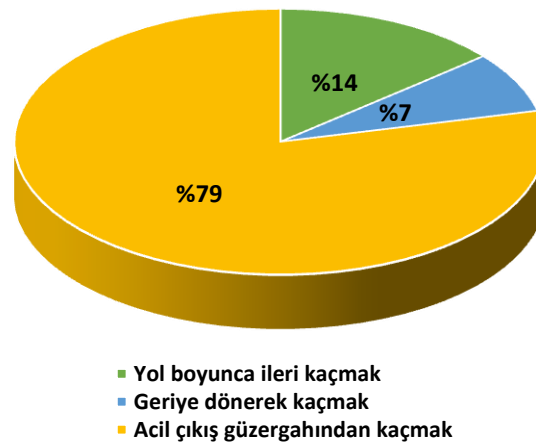
Cinsiyet ile kaza durumundaki hareket arasındaki ilişki: Karayolu tünelleri geçişleri esnasında, sürücülerin bir kaza yaşanması durumunda nasıl hareket ettiği ve cinsiyetin hareket etme şekli ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmada Ki Kare analizi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,001$ bulunmuştur. Bulunan bu değerin 0,050'den küçük olması, cinsiyetin bir kaza durumunda hareket etme şekli üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olduğunu göstermiştir. Tablo 9'da kadın ve erkek katılımcıların “Soru-8: Tünellerde yaşayabilecekleri bir trafik kazası olayında nasıl hareket edersiniz?” sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir.

Tablo 9. Katılımcıların “Tünellerde yaşayabileceğimiz trafik kazası durumunda nasıl hareket edersiniz?” sorusuna ait yanıtlarının dağılımı

| Cinsiyet | Sürücü Davranışı | | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---|-----------|---------------------|
| | Güvenlik önlemi almaya çalışırım | Cep telefonundan yardım çağırırım | Tüneli terk ederim | Yardım ekipleri gelinceye kadar araçta beklerim | Diğer | |
| Kadın | 41 | 41 | 4 | 14 | 4 | 104 |
| Erkek | 237 | 75 | 7 | 15 | 9 | 343 |
| Toplam (Σ) | 278 | 116 | 11 | 29 | 13 | 447 |

Katılımcıların acil durumlardaki kaçış güzergâhları: Şekil 6'da görüldüğü üzere katılımcılara, “Soru-9: Tünellerde yaşanabilecek kaza ve yangın gibi acil durumlar karşısında kaçış güzergâhınız ne olur?” sorusu sorulmuştur. Katılımcılardan, 352 kişi (%79) acil çıkış güzergâhından, 62 kişi (%14) yol boyunca ileri ve 33 kişi (%7) de geriye dönerek kaçma tercihinde bulunacağını ifade etmiştir.

Tünelden Kaçmak İstediginizde Kaçış Güzergâhınız Ne Olur?



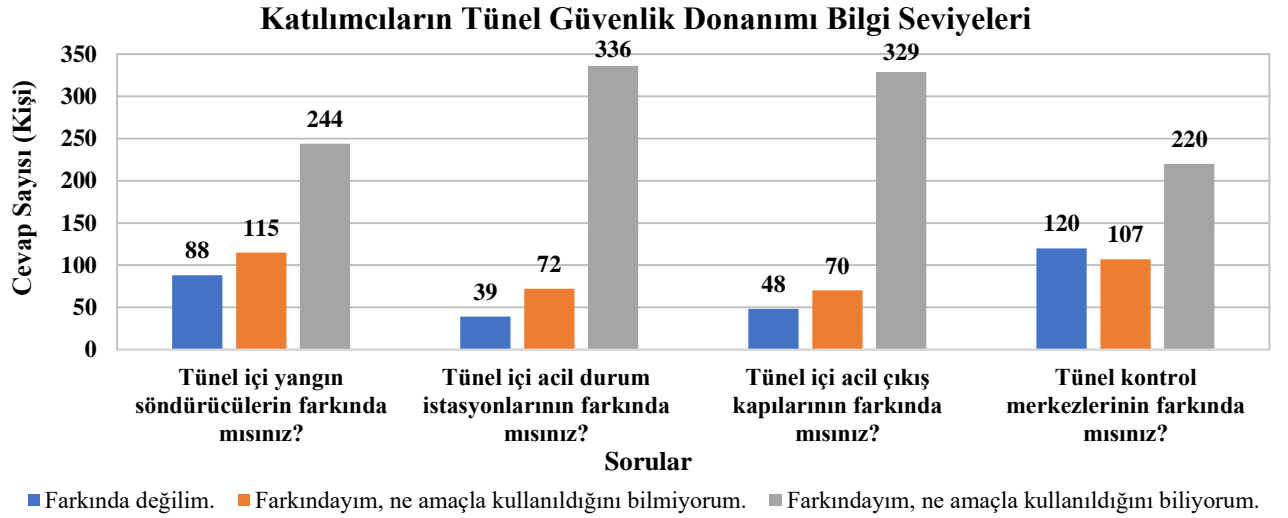
Şekil 6. Sürücülerin tünelden kaçmak istediğinde kaçış güzergâhının ne olacağını dağılımı

Mevcut literatür çalışmaları, acil durumda sürücülerin acil çıkış kapı seçiminin çevresel koşullara (mesafe, görünürlük vb.), sosyal etkileşimlere ve yolcuların tünel geometrisi bilgilerine bağlı olduğunu

göstermiştir (Frantzich ve Nilsson, 2004). Yine bu çalışma sonuçlarına göre kullanıcıların genel olarak, en yakın çıkışlara doğru gitmek istedikleri belirlenmiştir. Ancak, tünelde yangın olması durumunda, acil çıkışlar tünelin kendi giriş-çıkışında daha caydırıcı gelebileceği ve ilk defa kullanılacağı için tercih edilemeyebileceği sonucuna da ulaşılmıştır (Ronchi ve Kinsey, 2012). Çıkış yeri kararında, kullanıcıların yangınla ilgili koşulları, çıkışlara aşinalıklarını ve çıkış görünürlüğünü de dikkate alarak hareket edeceği görülmüştür (Ronchi ve Kinsey, 2012). Yürütülen bu çalışmada da sürücü yanıtlarının literatür çalışmalarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Katılımcıların acil durumlar için tünel güvenlik donanımı hakkındaki bilgi seviyesi: Çalışmada, katılımcıları acil durumlarda karayolu tünel güvenlik bilgilerini ölçmek amacıyla nominal (sınıflama) değişkenleri kullanılarak (1-Farkında değilim, 2-Farkındayım ne amaçla kullanıldığını bilmiyorum, 3-Farkındayım ne amaçla kullanıldığını biliyorum) Şekil 6’da verilen sorular yöneltilmiştir. Bu soruların faktör analizine uygunluğunu belirlemek amacıyla Kaiser Meyer Olgın (KMO) değeri araştırılarak 0,736 bulunmuştur. KMO değerinin 0,600’den büyük çıktığı ($0,736 > 0,600$) ve verilerin faktör analizi için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yapılan Bartlett testi sonucunda *P* değeri 0,010 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,050’den küçük oluşu ($0,010 < 0,050$) değişkenler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Kullanılan ölçeğin güvenilirliği belirlemek için güvenilirlik analizi yapılarak Cronbach’ Alpha katsayısı 0,767 bulunmuş ve bu değer 0,700’den büyük olması faktör analizinde belirlenen ölçeğin güvenilir olduğunu göstermiştir.

Şekil 7’de faktör analizi gruplamasına göre, katılımcıların tünel güvenlik donanımı hakkındaki soruya verdikleri cevaplar görülmektedir. Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere katılımcıların büyük çoğunluğunun güvenlik donanımlarının farkında olduğu ancak farkında olmayan veya farkında olmasına karşın ne amaçla kullanıldığını bilmeyen katılımcıların da olduğu görülmüştür. Daha güvenli sürüş ve tünel geçişleri için, tünel güvenlik donanımlarının; sürücüler tarafından fark edilebilmesini artırmak, daha fazla dikkat çekici hale getirmek ve bu donanımların ne amaçla kullanıldığı konusunda bilgilendirici çalışmalar (broşür, reklam vb.) yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7. Katılımcıların tünel güvenlik donanımı bilgi seviyelerinin ölçülmesi

Cinsiyet ile acil durumlar karşısındaki yeterlilik hissi arasındaki ilişki: Karayolu tünel geçişleri esnasında yaşanabilen veya karşılaşılan acil durumlar karşısında, sürücülerin kendilerini yeterli görüp görmemesinin cinsiyet ile anlamlı bir ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırmada Ki Kare analizi yapılarak Pearson Chi-Square anlamlılık değeri $P=0,004$ bulunmuştur. Bulunan bu değer 0,050'den küçük olması; cinsiyet ile tünellerde görülebilecek acil durumları karşısındaki yeterlilik hissi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Tablo 10'da kadın ve erkek katılımcıların, “Soru-10: Tünellerde yaşanabilecek bir trafik kazası veya yangın olayına karşı nasıl hareket edilmesi konusunda kendinizi yeterli görüyor musunuz” sorusuna verdikleri cevaplar görülmektedir. Tablo 10'dan da görüleceği üzere kadın sürücülerin erkek sürücülere oranla acil durumlar karşısında kendilerini daha az yeterli gördükleri sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 10. Katılımcıların “Tünellerde yaşanabilecek kaza veya yangın olaylarında nasıl hareket edilmesi konusunda kendinizi yeterli görüyor musunuz?” sorusuna ait yanıtlar

| Cinsiyet | Katılımcı Görüşü | | | | Toplam (Σ) |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------|
| | Tamamen Yetersiz Görüyorum | Kısmen Yeterli Görüyorum | Büyük Ölçüde Yeterli Görüyorum | Tamamen Yeterli Görüyorum | |
| Kadın | 18 | 57 | 21 | 8 | 104 |
| Erkek | 27 | 167 | 93 | 56 | 343 |
| Toplam (Σ) | 45 | 224 | 114 | 64 | 447 |

4. Mevcut Tünel İşletim Performansının İncelenmesi ve Değerlendirme

Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde incelenen 19 adet tünelin işletim özellikleri açısından incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmış ve bu sonuçlara göre değerlendirme yapılmıştır:

- D885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan Kürtün Kavşak, Köprübaşı, Torul, Taşocağı ve Mescitli Varyant tünellerine ait kontrol merkezleri mevcuttur. D 885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan tünellerin hiçbirinde ne yazık ki tünel kontrol merkezi bulunmamaktadır.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-02 nolu kontrol kesiminde bulunan Kürtün Kavşak, Köprübaşı ve Torul tünelleri, tek bir alt kontrol merkezine sahiptir. Bu tünellere ait ana kontrol merkezi 101. Şube Şefliği bünyesinde yer almaktadır. Alt kontrol merkezi ile ana kontrol merkezi arasında izleme sistemi için fiber optik hat henüz çekilmediğinden ana kontrol merkezinden bu tüneller izlenememektedir. Birimler arasındaki koordinasyonun sağlıklı yapılabilmesi için gerekli çalışmalar yapılarak bahsi geçen tüneller ana kontrol merkezinden izlenmelidir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-01 nolu kontrol kesim noktasının 31+360 km'sinde yer alan ve 760 m uzunluğundaki Bağışlı tünelinin aydınlatması oldukça yetersiz durumdadır. Bu durum, özellikle aydınlıktan karanlığa geçişlerde adaptasyon süresini uzatmakta ve bu süre zarfında sürücülerin tünel içerisinde bulunabilecek araç ve cisimleri görememesine neden olmaktadır. Trabzon-Gümüşhane karayolunun D885-01 nolu kontrol kesim noktasının 31+360 km'sinde yer alan ve 760 m uzunluğundaki Bağışlı Tüneli'nin, Trabzon istikametinde bulunan tünel çıkışına güneş ışıkları oldukça geç düşmektedir. Dolayısıyla kış aylarında tünel çıkışında gizli buzlanma meydana gelmektedir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolunda bulunan tünellerden, herhangi birinde yaşanan acil durumda, ilgili tünel hangi il veya ilçe sınırları içerisinde kalıyorsa, tünele öncelikle o ilin veya ilçenin acil müdahale ekipleri intikal edecektir. Bu bağlamda;
 - Şehit Eren Bülbül Tüneli'ne Trabzon Belediyesi,
 - Yeni Maçka Tüneli ile Eski Zigana Tüneli arası tünellere Maçka Belediyesi,
 - Eski Zigana Tüneli ile Torul Tüneli arası tünellere Torul Belediyesi,
 - Torul Tüneli ile Gümüşhane Tüneli arasındaki tünellere Gümüşhane Belediyesi
 İtfaiye ekiplerince müdahalede bulunulacaktır. Tünellerde yaşanan kaza olaylarına ilk olarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından müdahalede bulunulmakta ancak AFAD'ın yetersiz kaldığı durumlarda sorumlu belediye ekiplerine ait itfaiye birimleri yardıma gidecektir.
- Trabzon-Gümüşhane karayolu ulaşımında kullanılan 19 adet tünelin azami hız sınırları 50, 60 ve 70 km/s arasında değişiklik göstermektedir. Aydın ve ark. (2020), Trabzon-Gümüşhane il sınırları arasındaki tünellerde; ortalama araç hızlarını ve ortalama tahmini yol yüzey düzgünlük değerlerini ölçmüşler ve yapılan ortalama hızların, tünel azami hız sınırlarının üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Dolayısıyla bu sonuç, tünellerdeki işletim hızlarının limitler dahilinde kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, Türkiye’de sık şekilde tünelli geçişleri bünyesinde barındıran (19 adet tünel) ve Trans-Avrupa Karayolu Ağının yaklaşık 100 km’lik kısmını oluşturan Trabzon-Gümüşhane karayolu güzergâhı, sürücülerin düşünce, bilgi ve davranışları anket çalışması ve farklı olası kaza senaryoları altında incelenmiştir. Bu amaçla 491 adet anket yapılmış ve 447 anket değerlendirmeye alınmıştır. Gruplar üzerinde faktör ve güvenilirlik analizleri yapılarak kullanılan ölçeğin güvenilirliği araştırılmıştır. Ki Kare ve Bartlett testleri yapılarak bağımsız değişkenler (cinsiyet, meslek, eğitim, yaş, güzergâh kullanım sıklığı) ile bağımlı değişkenler (katılımcıların acil durumlar karşısında ki bilgi, davranış ve hareket etme kabiliyetlerini ölçmeye yönelik hazırlanan anket soruları) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda;

- Tünel kullanım sıklığının artması ile sürücü aşinalığının arttığı ve tünel geçişlerinde araç hızı düşürme oranının azaldığı ve bu sonucun Hu ve ark. (2019) çalışmasında bulunan sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.
- Cinsiyet ile tünel geçişlerinde yaşanan tedirginlik hissi arasında anlamlı bir ilişki olduğu, kadınların erkeklere kıyasla daha fazla tedirginlik hissettiği,
- Literatüre de (Kircher ve Ahlstrom, 2012; Yeung ve ark., 2013) uygun olarak kullanıcıların en çok açık karayolundan (aydınlıktan) tünel (karanlığa) geçişlerde görüş problemi yaşadığı,
- Kullanıcıların daha güvende hissetmek için tünel aydınlatmasında kullanılacak ışık rengi olarak beyazı seçtikleri,
- Tünelde yaşanacak acil bir durum karşısında aracı terk etme ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu ($P < 0,10$) ve kadın sürücülerin daha yüksek oranlarda aracı bırakarak tüneli terk etme eğiliminde oldukları,
- Eğitim düzeyi arttıkça, tünellerde acil durum altında ve normal sürüş durumunda doğru karar verme arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunduğu,
- Tünellerde yaşanacak kazalar karşısında sürücü davranışlarının cinsiyete göre farklılık gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Yapılan saha gözlemlerinden tünellerin işletim güvenliği için madde taşımacılığı konusunda bazı önlemlerin alınmasının yangına karşı güvenlik için gerekli olduğu görülmüştür. İncelenen Trabzon-Gümüşhane yol güzergâhı üzerinde yapımı devam eden ve Avrupa’nın en uzun tüneli olacak olan Yeni Zigana Tüneli’nin ulaşım kazandırılması ile söz konusu güzergâh tehlikeli madde taşımacılığı ve tünel güvenliği açısından daha da önemli hale getirecektir. Bu tünelin uzun bir tünel olması nedeniyle incelenen güzergahta inşası devam eden Yeni Zigana tüneli de dahil olacak şekilde uzunluğu ≥ 1000 m olan tüneller için alternatif güzergâhlar belirlenmiştir. Bu kapsamda Şehit Eren Bülbül Tüneli, Yeni Maçka Tüneli, Yeni Zigana Tüneli ve Torul Tüneli için eski yol güzergâhları, tehlikeli madde taşımacılığı için önerilen alternatif güzergâhlar olarak belirlenmiştir. Yine saha incelemelerinden Bağışlı Tüneli’nin aydınlatması oldukça yetersiz bulunmuştur. Bu durumun özellikle

aydınlıktan karanlığa geçişlerde adaptasyon süresini uzattığı ve bu süre zarfında sürücülerin, tünel içerisinde bulunabilecek araç ve cisimleri görememesine neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca söz konusu tünelin Trabzon istikametinde tünel çıkışına güneş ışıklarının geç düştüğü, dolayısıyla kış aylarında oluşan gizli buzlanmanın, kazalara neden olabileceği bu durumun önlenmesi amacıyla otomatik buz önleme sisteminin kurulması gerektiği düşünülmektedir. İncelenen tünellerdeki hız limitlerine göre tünellerdeki hızlar 50, 60 ve 70 km/s arasında değişiklik göstermektedir. Fakat yapılan incelemeler neticesinde bu azami hız değerlerinin çok üzerinde bir trafik hızının olduğu görülmüştür. Bu nedenden dolayı sürücülerin hız sınırlarına uymasında etkili olabilecek denetim mekanizmaları (radar vb.) yerleştirilmeli ve/veya denetimler sıklaştırılmalıdır. Buna ek olarak koridor hızı ihlal tespit sistemleri, tünel yaklaşım bölgelerine belirli mesafelerde yerleştirilerek sürücülere hızlarının yüksek olduğu bilgisi verilerek/uyarılarak farkındalık artırılmalıdır.

Bu çalışma belirli bir güzergâh ve sınırlı sayıda örneklem büyüklüğü ile yapılmış olup farklı bölgelerdeki farklı sürücüler ile yapılacak anketler ile daha da geliştirilebilecektir. Özellikle sürücülerin farklı senaryolara göre öngördükleri davranışlarının incelenen tünellerdeki kaza istatistikleri ile ilişkilendirilmesinin çalışmayı daha da ileriye taşıyarak hangi sürücü davranışlarının kazaları daha fazla tetikleyebileceği öngörülebilecektir. Böylece elde edilecek bulgulara göre tünellerde alınacak önlemler ile tünel güvenliği daha iyileştirebilecek; operasyonel anlamda daha etkin tüneller inşa edilebilecektir. Ayrıca sürücü eğitimlerinde tünel güvenliği konusunda bir eğitim vermesinin tünellerde güvenli sürüş için farkındalık oluşturabileceği düşünülmektedir. Böylece tünelleri kullanan sürücüler, tüneller konusunda önceden elde ettikleri bilgiler ya da kazandıkları tecrübeler ışığında tünel kesimlerindeki riskli durumları düşünerek, sürüş karakteristiklerini bu duruma göre düzenleyecektir. Böylece kontrollü ve temkinli sürüş davranışları ile tünellerde meydana gelebilecek kazalar en aza indirebilecektir. Çalışma elde edilen bulguların efektif bir tünel işletimi için gerekli olan tüm hususlar konusunda yetkililere yol göstereceği; etkin ve güvenli bir tünel işletimi için önemli yol gösterici bir rehber olacağı düşünülmektedir.

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

Amundsen FH. Studies of driver behaviour in Norwegian road tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 1994, 9(1): 9–15.

- Amundsen FH., Ranæs G. Studies on traffic accidents in Norwegian road tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2000; 15: 3-11.
- Aydın MM., Çoruh E., Kalkan H. Farklı karayolu tünellerinin tünel özellikleri ve sürücü davranışları açısından irdelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 2020; 7(3): 1258-1274.
- Beard AN. Tunnel safety, risk assessment and decision-making. *Tunn Undergr Space Technol* 2010; 25(1): 91–94.
- Calvi A., Blasiis MRD., Guattari C. An empirical study of the effects of road tunnel on driving performance. *Procedia* 2012; 53: 1098–1108.
- Calvi A., D’Amico F. A study of the effects of road tunnel on driver behaviour and road safety using driving simülator. *Advances in Transportation Studies an international Journal* 2013; 30(30): 59-76.
- Calvi A., De Blasiis MR. How Long is really a road tunnel? application of driving simulator for the evaluation of the effects of highway tunnel on driving performance. 6th International Conference ‘Traffic and Safety in Road Tunnels’, Hamburg, 2011.
- Cantin V., Lavalliere M., Simoneau M., Teasdale N. Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity. *Accident Analysis and Prevention* 2009; 41: 763-771.
- Carvel R., Marlair G. A history of fire incidents in tunnels. In: Beard, A.N., Marlair, G. (Eds.), *The Handbook of Tunnel Fire Safety*, Thomas Telford Limited, London 2005, 3–41.
- Flø M., Jenssen GD. Drivers’ perception of long tunnels. In: *Proceedings of the 4th International Conference-Traffic and Safety in Road Tunnels 2007*; Hamburg, Germany, 25–27.
- Frantzich H., Nilsson D. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. In: *Human Behaviour in Fire, Proceedings of the Third International Symposium*, Belfast, UK 2004: pp. 229–238.
- Haack A. Current safety issues in traffic tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 117–127.
- Harbluk JL., Noy YI., Trbovich PL., Eizenman, M. An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers’ visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention* 2007; 39: 372-379.
- Hu YQ., Liu HX., Zhu T. Influence of spatial visual conditions in tunnel on driver behavior: Considering the route familiarity of drivers. *Adv. Mech. Eng.* 2019; 11: 1–9.
- Jenssen GD. Evaluation of interior design in the world’s longest road tunnel, In: *First International Conference: Long Road and Rail Tunnels*, Basel, Switzerland, 1999.
- Kircher K., Ahlstrom C. The impact of tunnel design and lighting on the performance of attentive and visually distracted drivers. *Accident Analysis Prevention* 2012; 47: 153-161.
- Kirkland CJ. The fire in the channel tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 129–132.

- Koçhan B. Karayolu tünel güvenliği ve meydana gelen kazalar: Trabzon-Gümüşhane karayolu örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2021; 187 s. Gümüşhane, Türkiye.
- Kvaale J., Lotsberg G. Measures against monotony and phobia in the 24.5 km long Laerdal tunnel in Norway. In: Krokeborg, J. (Ed.), *Strait Crossings 2001: Proceedings of the Fourth Symposium on Strait Crossings*, Bergen, Norway. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2001.
- Lee YC., Lee JD., Boyle LN. Visual attention in driving: The effects of cognitive load and visual disruption. *Human Factors* 2007; 49: 721-733.
- Leitner A. The fire catastrophe in the Tauern tunnel: experience and conclusions for the Austrian guidelines. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2001; 16(3): 217-223.
- Lemke K. Road safety in tunnels. *Transportation Research Record* 2000; 1740(1): 170-174.
- Liang B., He S., Tähkämö L., Tetri E., Cui L., Dangol R., Halonen L. Lighting for road tunnels: The influence of CCT of light sources on reaction time. 2019, <https://research.aalto.fi/en/publications/lighting-for-road-tunnels-the-influence-of-cct-of-light-sources-o>.
- Liu HY. Design criteria for tunnel lighting. 2005, <http://eng-gate.net/content/uploads/2015/07/7810144939269.pdf>.
- Manseer M., Riener A. Evaluation of driver stress while transiting road tunnels. In: *Proceedings of the 6th adjunct international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications*, Seattle, WA, 17 September 2014, pp.177-182. New York: ACM Press.
- Manser MP., Hancock PA. The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis & Prevention* 2007; 39(1): 69-78.
- Mashimo H. State of the road tunnel safety technology in Japan. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2002; 17(2): 145-152.
- Ntzeremes P., Kirytopoulos K. Evaluating the role of risk assessment for road tunnel fire safety: A comparative review within the EU. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 2019; 6(3): 282-296.
- Nussbaumer C. Nitsche P. Safety in tunnels on motor-and expressways. Department of Transport and Mobility Austrian Road Safety Board, International Conference 'Tunnel Safety and Vantilation', Austria, 2008.
- Recarte MA., Nunes L. Mental load and loss of control over speed in real driving, Towards a theory of attentional speed control. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 2002; 5: 111-122.
- Robatsch K. Nussbaumer C. Tunnels mit Gegenverkehr und Richtungsverkehr/ tunnels with uni- and bi-directional traffic, Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr, Wien, 2004.

- Ronchi E. Kinsey M. Evacuation models of the future. Insights from an online survey on user's experiences and needs. In: Capote J et al. (eds) Advanced research workshop evacuation and human behaviour in emergency situations EVAC11, Santander 2012; pp 145–155.
- Stinchcombe A., Gagnon S. Driving in dangerous territory: Complexity and road-characteristics influence attentional demand. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour* 2010; 13: 388-396.
- TÜİK. Trafik İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, 2020, Ankara (Erişim Tarihi: 04.06.2021). [https:// data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1](https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112&dil=1)
- Wenga J., Dua F., Hua Y. Caia X. Dark adaptation time study on road tunnel daytime lighting based on visual performance method. *Chemical Engineering Transactions* 2017; 59: 691-696
- Yan W., Kong LQ., Guo ZY. Alignment design at tunnel entrance and exit zone based on operating safety. *J Highw Transp Res Dev Chin Ed.*, 2008; 25: 134–138.
- Yeung JS., Wong YD., Xu H. Driver perspectives of open and tunnel express-ways. *J. Environ. Psychol.*, 2013; 36: 248–256.
- Zhao EZ., Dong LL., Chen Y., Lou Q. Xu WH. The impact of led color rendering on the dark adaptation of human eyes at tunnel entrances. 2020; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7084632/>.

Menderes Masifinde Yeni Kuyularda Isı Akısı Hesabı: İncirliova, Aydın

H. Evrim TÜTÜNSATAR^{1*}, Gökhan ÜNAL², M. Nuri DOLMAZ³

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksekokulu, Kültürel Miras ve Turizm Programı, 32090, Isparta

^{2,3} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

¹ <https://orcid.org/0000-0002-0712-3164>

² <https://orcid.org/0000-0003-4060-918X>

³ <https://orcid.org/0000-0002-9185-9835>

*Sorumlu yazar: evrimtutunsatar@isparta.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 08.02.2022

Kabul tarihi: 02.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Jeotermal gradyan

Kuyu ölçümleri

Isı iletkenliği

Isı akısı

Aydın

Bu çalışma kapsamında Ege Bölgesi, Aydın ili sınırları içerisinde yer alan İncirliova bölgesinde yeni açılan iki kuyuda (Efeler 1 ve Efeler 2), kuyu içi termal bilgilerine dayanılarak kabuğun üst derinlikleri için ısı akısı hesabı yapılmıştır. Söz konusu bu kuyulara ait elde edilen $53,9 \pm 0,08$ °C/km ve $40 \pm 0,12$ °C/km jeotermal gradyan ile kuyu litolojisi incelenerek ve efektif yöntem kullanılarak hesaplanan ısıl iletkenlik değerleri ve ısı akısı değerleri ilk defa bu çalışma ile ortaya konmuştur. Efeler 1 kuyusunda elde edilen jeotermal gradyan değerleri 50 – 76°C arasında değişmektedir. Efeler 1 kuyusu düşey litolojik bilgisine dayanılarak sırasıyla 50,82 °C/km, 52,72 °C/km, 63,04 °C/km ve 75,94 °C/km değerlerine sahip olan dört ayrı tabaka olarak sınıflandırılmıştır. 2,75 W/m°C ısı iletkenliği ve $53,9 \pm 0,08$ °C/km ortalama jeotermal gradyan kullanılarak Efeler 1 kuyusu için efektif yöntem ile ısı akısı 148,23 mW/m² olarak hesaplanmıştır. Efeler 2 kuyusu için 2,75 W/m°C ısı iletkenliği ve $40 \pm 0,12$ °C/km ortalama jeotermal gradyan kullanılarak ısı akısı 110,0 mW/m² olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bölgede yapılan diğer çalışmalarla uyumludur ve çalışma alanı olan Aydın bölgesinin yüksek ısı akısı bölgesi olarak nitelendirilmesini desteklemektedir. Ayrıca, Curie Nokta Derinliğinden elde edilen 49,57 °C/km jeotermal gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektif yöntemle hesaplanan 2,75 W/m °C değerine sahip ısıl iletkenlik değeri kullanılmıştır ve bölge için ısı akısı 136,3 mW/m² olarak hesaplanmıştır. Curie Nokta Derinliği ile hesaplanan ısı akısı yeni açılan kuyulardan hesaplanan ısı akısı değerleri ile karşılaştırıldığında; Curie Nokta Derinliği ile elde edilen ısı akısının kuyu (Efeler 1) ısı akısı değerinden biraz daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum kabuğun daha büyük bir bölümü için hesaplanan jeotermal gradyandan kaynaklanmaktadır.

The Calculation of Heat Flow in New Boreholes in Menderes Massif: İncirliova, Aydın

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 08.02.2022

Accepted: 02.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Geothermal gradient

Boreholes measurements

Heat conductivity

Heat flow

Aydın

Heat flow calculations were made for the upper depths of the crust based on the thermal information of the boreholes in two newly opened boreholes in the İncirliova region within the borders of Aydın province in the Aegean Region. The thermal conductivity values and heat flow values were calculated by using the effective method as well as based on the borehole lithology with a geothermal gradient of 53.9 ± 0.08 °C/km and 40 ± 0.12 °C/km. Geothermal gradient values obtained in Efeler 1 borehole vary from 50 to 76°C. The values of 50.82 °C/km, 52.72 °C/km, 63.04 °C/km and 75.94 °C/km were obtained for four separate layers classified for Efeler 1 borehole,

respectively. The heat flow for Efeler 1 borehole was calculated as 148.23 mW/m² with an effective method by using a thermal conductivity of 2.75 W/m°C and an average geothermal gradient of 53.9±0,08 °C/km. Likewise, the heat flow for Efeler 2 borehole was calculated as 110.0 mW/m² by using 2.75 W/m°C thermal conductivity and 40±0.12 °C/km average geothermal gradient. These results, which are characterized as high heat flow region, are consistent with the other studies in the region. The heat flow value with 136.3 mW/m² was calculated for the region by using geothermal gradient (49.57 °C/km) obtained from the Curie Point Depth and the thermal conductivity (2.75 W/m °C) calculated by the effective method based on the borehole lithology. The heat flow calculated from the Curie Point Depth was compared with the heat flow values calculated from the drilled boreholes. It was seen that the heat flow obtained by the Curie Point Depth was low. The reason of this low heat flow is the geothermal gradient calculated for a larger portion of the crust.

To Cite: Tütünsatar HE., Ünal G., Dolmaz MN. Menderes Masifinde Yeni Kuyularda Isı Akısı Hesabı: İncirliova, Aydın. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 517-537.

1.Giriş

Artan insan nüfusu ve buna bağlı olarak artan enerji gereksinimini karşılayabilmek, dünya çapında sürdürülebilirliği önem arz eden konulardan biridir. Ekonomik büyüme ve enerji tüketim ilişkisini inceleyen Yanıktepe ve ark. (2021), enerji tüketiminin iktisadi büyümede son derece etkili bir parametre olduğunu ve enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Son zamanlardaki yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim sürdürülebilirliği sağlama açısından destekleyici çözümler sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Jeotermal, yeraltının çeşitli derinliklerinde saklı bulunan sıcak su ve buharının sondaj vb. yöntemler ile yüzeye çıkarılması ve üretimde bu ısıdan yararlanma işlemidir. Jeotermal kaynaklar, ısınma, elektrik, seracılık vb. enerji gereksinimlerini karşılamaya yönelik alanlarda kullanımı gün geçtikçe artan enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Jeotermal kaynakların ortaya çıkarılması için öncelikli olarak yeraltı ısısının bilinmesi, litolojisinin tanınması ve sıcaklık alanının incelenmesi gerekmektedir. Yer içi ısısını ve derinlikle değişimlerini bilmek, bölgesel birim yüzeydeki ısı aktarım hızını (ısı akısını) ölçmek ve buna bağlı olarak ısı akısı haritaları oluşturmak jeotermal kaynakların ortaya çıkarılması için gerekli bir yöntemdir.

Yer içi ısı levha hareketleri, deprem, volkanizma, jeotermal, manto konveksiyon akımı, radyoaktif elementlerin yarılanma ömürleri, gravitasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi ve basınç ile sıcaklığın derinlikle artmasından kaynaklanmaktadır. Yer kabuğunun jeotermal gradyan (sıcaklık gradyan) olarak ifade edilen derinlikle sıcaklık değişimlerini tespit etmek dünyanın iç sıcaklığının anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Jeotermal gradyan sahadaki kuyularda doğrudan ölçülebildiği gibi, Curie Nokta Derinliği hesapları ile de dolaylı olarak tespit edilebilmektedir. Yer kabuğunun jeotermal gradyanını hesaplamak sondaj ile ölçülemeyen derinliklerin sıcaklıklarını tahmin edilmesine de imkân sağlamaktadır. Yericinin derinlere doğru sıcaklığının arttığı ve mantodan yayılan ısının yer kabuğunu ısıtan başlıca kaynak olduğu bilinmektedir. Yer içi ısı iletimini etkileyen bir diğer unsur kayaçların da kendilerine ait ısı iletim özelliklerinin olmasıdır. Kayaçların ısı iletkenlikleri içerdiği mineral bileşimleri, sıcaklık, basınç, gözeneklilik ve suya doygunluklarına bağlı olarak değişim

göstermektedir. Sedimanter, magmatik ve metamorfik kayaçların her biri özelliklerine göre farklı ısı iletkenliğe sahiptir. Kayaçların ısı iletkenliği petrol ve gaz arama, termoelastik stres analizi ve yerbilimi çalışmalarında önem arz etmektedir. Isı akısı jeotermal gradyan ve ısı iletkenlik çarpılarak hesaplandığından, ısı akısı belirlemelerinde ısı iletkenlik bilgisi önemlidir (Jaeger, 1965). Ayrıca, kayaç ısı iletkenlik değerlerinin bilinmesi ısı akısı ve termal modelleme çalışmaları için de önem arz etmektedir (Balkan ve ark., 2017).

Bu çalışmada Batı Anadolu'da Ege Bölgesi'nde Aydın ili sınırları içerisinde İncirliova bölgesinde son zamanlarda yeni açılan iki kuyuya (Efeler-1 ve Efeler-2 kuyusu) ait kuyu içi termal bilgilerine dayanılarak, ilk defa bu lokasyonda kabuğun üst derinlikleri için ısı akısı hesabı yapılarak yorumlanmıştır. Ayrıca aynı alana ait Curie Nokta Derinliklerinden elde edilen jeotermal gradyan kullanılarak da ısı akısı hesabı yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

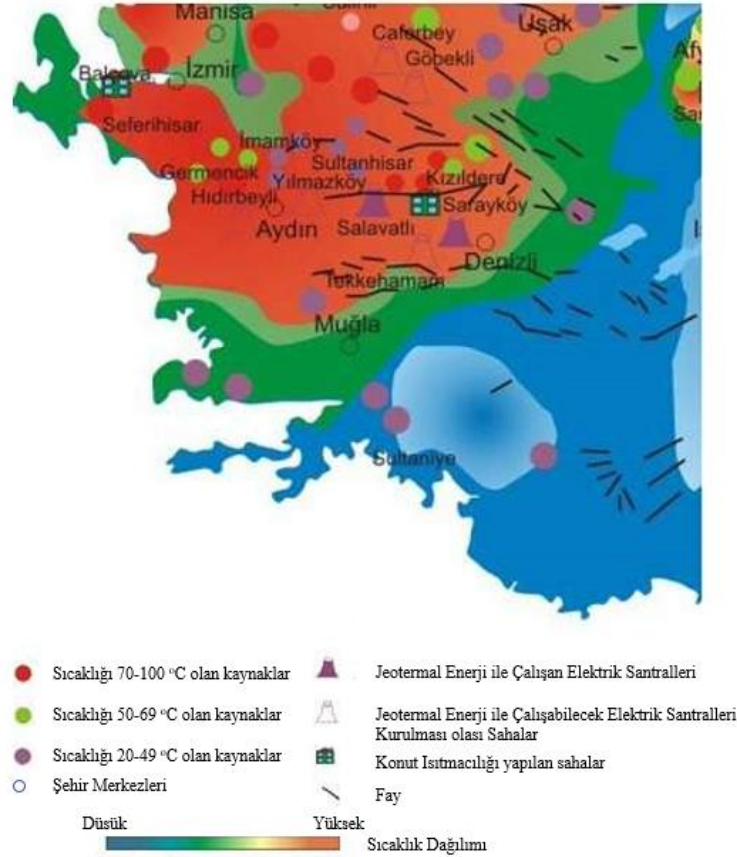
Bölgesel Tektonik, Jeoloji ve Isı Akısı

Çalışma alanının yer aldığı Batı Anadolu Bölgesi yoğun levha tektoniği hareketleri ile dikkat çekmektedir. Buna rağmen aktif tektonik yapıya sahip Batı Anadolu'daki ısı akısı çalışmaları yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Yer kabuğunun yüzeye yakın kesimlerindeki iletken ısı akısının ortaya konması ile levha tektonik aktivitesinin yakın tarihini-ilişkisini anlamak (Erkan ve Blackwell, 2008, 2009), kabuktaki kırılğan-sünek (brittle-ductile) yapı değişimlerinin geçiş derinliğini belirlemek (Bonner ve ark., 2003) ve bir bölgenin jeotermal enerji potansiyelini tahmin etmek (Tester ve ark., 2006; Serpen ve ark., 2009) açısından önem arz etmektedir (Erkan, 2015). Batı Anadolu Bölgesi yüksek entalpili jeotermal sistemleri içerdiğinden jeotermal enerji gelişiminde dikkat çekmektedir (Serpen ve ark., 2009). Türkiye'de en yüksek sıcaklıktaki (120-240 °C) jeotermal sistemler Menderes Masifi'nin derin grabenlerinin kenarları boyunca oluşmuştur ve derin faylar boyunca yüzey sularının sirkülasyonu ve Menderes horst-graben sisteminin tabanından gelen yüksek ısı akısı ile ilişkilidir (Erkan, 2015). Blackwell (1978) kıtasal bölgelerde 105 mW/m²'yi aşan ısı akısı değerlerinin üst kabukta kısmi ergime ve bununla ilgili silisli magmatik/vulkanik aktivite anlamına geldiğini öne sürmüştür.

Genel olarak Türkiye ve çalışma alanını içine alan Batı Anadolu bölgesinde gerçekleştirilen ısı akısı hesaplama çalışmaları yetersiz sayıda kuyu ve termal iletkenlik bilgisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (İlkışık, 1989, 1991, 1992, 1995, 2008; Tezcan ve Turgay 1991; Hisarlı, 1995; Pfister ve ark., 1998; Yemen, 1999; Dolmaz ve ark., 2005a; Bilim, 2007; Akın ve ark., 2014; Erkan, 2015; Bilim ve ark., 2016; Erbek ve Dolmaz, 2019; Balkan ve ark., 2017; Balkan-Pazvantoğlu ve ark., 2021; Sayın ve Gürer, 2021). İlkışık (1992; 1995), kaplıcalar üzerinde silika jeotermometresi kullanarak Batı Anadolu'da bölgesel ısı akısı çalışmaları yapmıştır. 187 kaynaktan silika ısı akısı değerleri hesaplayarak ortalama ısı akısını 107±45 mW/m² olarak tahmin etmiş ve dünya ortalamasından %50-60 daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Menderes Masifi ve dolayısıyla grabenlerin yüksek ısı akısı bölgesi olduğunu ve silika ısı akısının Gediz-Eynal-Simav civarında en yüksek değere (247 mW/m²)

sahip olduğunu (İlkışık, 1992) ve Aydın ve çevresinde ise 45 mW/m^2 ile 170 mW/m^2 arasında olduğunu belirtmiştir (İlkışık, 1995). Ege Denizi'nde gerçekleştirilen ısı akısı ölçümlerinde tektonik zonlar boyunca üç yüksek ısı akısı zonu tespit edilmiş olup en yüksek ısı akısı Ege volkanik yayının içinde ve arkasındaki bölgelere karşılık gelmektedir (Fytikas, 1980; İlkışık, 1995). 100 mW/m^2 'ye varan yüksek silika ısı akısı alanları ile Tersiyer ve daha genç volkanizma alanları arasında yakın bir ilişki vardır. Eosende çarpışma bölgesi ile yakından bağlantılı olan ve sismik olarak aktif bir bölge olan orta Batı Anadolu bölgesinde ise yaklaşık 150 mW/m^2 'ye sahip ısı akısı tespit edilmiştir. Isı akısı ve sismisite arasındaki ilişki incelendiğinde ise sismik aktivitenin yoğun olduğu alanların yüksek ısı akısı alanlarına denk geldiği gözlenmiştir (Dolmaz ve ark., 2005b). Menderes Masifi'nde yaklaşık 100 mW/m^2 civarlarında olan ısı akısı söz konusudur, buna karşılık nispeten daha az deprem olduğu kayıtlara geçmiştir. Masifin kuzeyinde ise 200 mW/m^2 'den daha yüksek ısı akısı, İzmir-Ankara çarpışma zonu çevresinde yoğun merkez dağılım alanı ile çakışmaktadır (İlkışık, 1995). İlkışık (2008) Ege Bölgesi'nde silika ısı akısı değerini Aydın-Ömerbeyli'de açılan derin kuyu (2000 m) için 284 mW/m^2 olarak tespit etmiştir. Oldukça yüksek olan bu ısı akısı değerinin bir ölçüm hatası mı olduğu yoksa hazne kayaya ulaşımın mı söz konusu olduğunun bilinmediği belirtilmiştir. Yemen (1999)'in çalışmasında Ege Bölgesi'ndeki sondaj kuyuları kullanılarak jeotermal gradyan yöntemi ile yapılan ısı akısı çalışmaları neticesinde Ege Bölgesi'nin genel olarak yüksek ısı akısı anomalilerine sahip olduğu görülmektedir. Tezcan ve Turgay (1991) tarafından ortaya konan Türkiye ısı akısı haritasının bir parçası olarak yer alan Batı Anadolu'da detaylı ısı akısı çalışması Erkan (2015) tarafından, iletken ısı akısının belirlenmesi için $\sim 100 \text{ m}$ derinliğe sahip 113 sondaj kuyusundan yüksek çözünürlüklü denge sıcaklıklarının analiz edilmesidir. Veri işlem ile 55 noktada gradyan ve ısı akısı hesabı yapılarak ortalama $55\text{-}70 \text{ mW/m}^2$ ve yüksek $85\text{-}95 \text{ mW/m}^2$ arasında değişen ısı akıları tespit edilmiş ve Batı Anadolu bölgesi için ısı akısı haritası oluşturulmuştur. Elde edilen ısı akısının en yüksek değerleri ($> 100 \text{ mW/m}^2$) Kula volkanik merkezine yakındır. Dolmaz ve ark. (2005a) da aynı bölgede Curie Nokta Derinliklerine dayanan çalışmasında benzer sonuçları elde etmiştir. Orta seviyede ısı akısı değerleri Hellenik yitim zonunun yay arkası bölümünü oluştururken, Menderes Masifi'nin orta kesiminde yüksek ısı akısı değerleri görülmektedir. Tezcan ve Turgay (1991)'in derin kuyulardan ($\sim 1000 \text{ m}$) alınan kuyu dibi sıcaklık verileri ve sabit bir ısıl iletkenlik ile oluşturulan Batı Anadolu bölgesi ısı akısı haritası genel olarak Erkan (2015)'dan daha yüksek ısı akısı değerlerine sahiptir. Akın ve ark. (2014) Türkiye geneli ısı akısı ölçümleri ile Türkiye'nin jeotermal potansiyelini değerlendirmiştir ve yeni jeotermal alanlar keşfetmişlerdir. Manyetik verilerin Curie Nokta Derinliği ve güç spektrumlarından Türkiye'nin ortalama ısı akısının 74 mW/m^2 olarak hesaplandığı çalışmada $125,7 \text{ mW/m}^2$ 'den yüksek alanlar jeotermal potansiyeli olan alanlar olarak değerlendirilmiştir. Türkiye jeotermal alanlarının %79'u Batı Anadolu bölgesi sınırları içerisinde bulunduğu ve Türkiye'nin en önemli jeotermal potansiyeli olan bölgenin 200 mW/m^2 'yi aşan ısı akısı değerleri ile Aydın ve çevresine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Balkan ve ark. (2017) Batı ve Orta Anadolu bölgelerindeki toplam 240 kaya örneğinin (136 kaya örneği Batı Anadolu bölgesine aittir) ısıl iletkenliğini

inceleyerek bu bölgelerdeki ısı akısı ve jeotermal modelleme çalışmalarına katkı sağlayabilecek ve önemli farklar yaratabilecek farklı kaya türleri arasındaki termal iletkenlik değerlerindeki farklılıklarını ortaya koymuşlardır. Buna göre, Batı Anadolu bölgesinde incelenen kaya örnekleri neticesinde kuru ortamların termal iletkenliği 0,7 W/mK ile 3,09 W/mK arasında değişmektedir. Balkan-Pazvantoğlu ve ark. (2021) tarafından Batı Anadolu bölgesi için 21 adet jeotermal gradyan ve 19 adet ısı akısı hesabı yapılmış ve bunlara ek olarak Erkan (2015) tarafından termal iletkenliğin olmaması sebebi ile eksik bırakılan 12 jeotermal gradyan hesabı bu çalışma ile yapılarak ve Pfister ve ark. (1998) verileri de eklenerek toplam 33 yeni ısı akısı verisi ile ısı akısı haritası genişletilmiştir. Ortaya konulan yeni ısı akısı çalışmasında genel olarak yoğun tektonik aktivite nedeniyle Menderes Masifi'nin grabenleri çevresinde yüksek değerler gözlenmektedir. Maksimum ısı değeri Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği noktada görülmektedir. Sayın ve Gürer (2021) tarafından yapılan yeni bir ısı akısı hesaplama yöntemi ile ısı akısı haritası Dolmaz ve ark. (2005a)'nın Curie nokta derinlikleri kullanılarak elde edilmiştir. Kuyulardaki doğrudan jeotermal gradyanları ile dolaylı Curie sıcaklık gradyanları arasında bir korelasyon kuran yeni bir ampirik hesaplama yöntemi önerilen çalışmada Batı Anadolu'da jeotermal gradyan doğru ölçülemeyen kuyular için jeotermal gradyan değerleri tahmin edilerek Batı Anadolu'nun daha eksiksiz bir jeotermal gradyan haritası ve dolayısıyla daha eksiksiz bir ısı akısı haritası elde edilmiştir.



Renklendirme için jeotermal alanda en yüksek sıcaklık değeri kullanılmıştır.

Şekil 1. Ege bölgesi jeotermal kaynakları haritası (URL-1)

Aydın bölgesi Büyük Menderes Havzası üzerine kurulmuştur ve 8007 km²'nin %21 alanını ova, %63,4'ünü dağlar ve %15,6'sını da platolar kaplamaktadır. Egeran ve Yener (1944) ilk defa Menderes Masifi ismini kullanarak bölgeyi haritalamıştır. Nebert ve Ronner (1956), Menderes Masifini ve çevresini albitizasyon olayları çerçevesinde incelemişlerdir. Schuiling (1958; 1962), çekirdeği oluşturan gnaysların kökenini, zirkonları incelemiş ve masifin yapısı, yaşı ve petrolojisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bölgenin jeolojisi, petrografi ve metamorfizma üzerine pek çok araştırmalar yapılmıştır (Wippen, 1964; Graeiansks, 1965; Akartuna, 1965; Ketin, 1966; Brinkmann, 1966; 1971; Scotford, 1969; Başarır 1970; İzdar, 1971; Ayan, 1973; Dora, 1975). Batı Anadolu'da genel olarak Aydın ilinde, geniş bir yayılım gösteren Menderes Masifi ve çevresindeki kaya birimleri yüzleşmektedir (Şenol, 2013). Aydın bölgesinin genel jeolojik yapısı Paleozoik, Mesozoik, Tersiyer ve Kuvaterner benzeri formasyonlar oluşturmaktadır (Koday ve Akbaş, 2018). Çalışma yapılan arazide özellikle üçüncü döneme ait büyük aflörmanlara (sıcaklık ile birbirine kaynamış büyük parçalı volkanik tüf) rastlanmıştır. Bu yörede yapılan çalışmalar sonucunda, neojen arazilerin büyük bir alan kapladığına dair veriler elde edilmiştir (Akartuna, 1965). Aydın bölgesinde Menderes Masifi geniş bir yayılım göstermektedir, bölgenin oluşumu Alpin ve Hersinyen hareketleri sonucunda meydana gelmiştir. Bölgenin oluşumunu sağlayan en eski zaman olan paleozoik denizinde çöken formasyondan kaynaklı en alt katmanı gnays kayalar bulunmaktadır. Formasyonun üst kısımlarda ise; mikaşist, kil, killi şist, kuvarsit ve mermer görülmektedir. Özellikle gnays ve mikaşistler çok fazla görülmektedir ve bu ortam Hersinyen veya daha eski hareketlerin sonucu olarak yorumlanmaktadır (Şenol, 2013).

Kabukta üretilen ısı akısının bir bölümü aktif tektonik hareketlerden kaynaklanır, diğer kısmı ise radyojenik ısı akısıdır. Ölçülen ısı akısı değerleri jeolojik yaşa göre de değişebilir. Prekambriyen kalkanlar gibi yaşlı formasyonlarda düşük iken, Senozoyik gibi genç kıvrımlarda yüksek ısı akısı değerleri ölçülmüştür. Genç havza oluşan bölgeler ısı akısı açısından çok önemlidir. Dalma – batma zonları, levha çarpışmaları ve graben yapılarında ısı akı değerleri yüksektir. Rift oluşumlarında, genç kıvrımlarda, okyanus ortası sırtlarında ve fay zonlarında ısı akı değerleri yüksektir.

Ege Bölgesi jeolojik ve tektonik açıdan önemli ve araştırılması gereken bir bölgedir. Bölge deprem açısından birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır. Ege Bölgesi tektonik olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Yapılan çalışmalar sonucunda tek bir fay hattından söz etmek mümkün değildir. Birbirinden bağımsız ve odak çözümleri farklı birçok önemli fay hattı bulunmaktadır. Bulunan bu fay hatlarının dışında belirlenemeyen birçok fayın ise, depremler sayesinde varlığı anlaşılmaktadır. Aydın ilinin yer aldığı Ege Bölgesi günümüze kadar birçok depreme maruz kalmıştır ve içinde bulunduğu tektonik olayların sonucunda bölgede birçok jeotermal sahası ortaya çıkmıştır. Şekil 2 ile çalışma alanı, çalışma kapsamında ısı akısı hesaplanan kuyular ve MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ile oluşturulan Büyük Menderes Masifinde Aydın ve çevresinde tespit edilen faylar gösterilmektedir (koordinat sistemi WGS 84). Fayların yoğun olarak gözlemlendiği çalışma alanında yüksek jeotermal potansiyel söz konusudur. Ege Bölgesi'nin aktif tektonik hareketleri iki jeolojik olay doğrultusunda

şekillenmektedir. Bu iki jeolojik olayların ilki Arabistan levhasının sıkıştırması, diğer olay ise Ege dalma-batma zonunun hareketleri sonucudur. Ege Bölgesi tektonizma hareketlerine bakıldığında günümüzde aktif bir bölgedir. Batı Anadolu levhasında Kuzey – Güney gerilmesi sonucunda her yıl 3-6 cm gerilme meydana gelmektedir, bu hareketlerin sonucunda Doğu – Batı yönünde grabenler oluşmuştur (Dündar, 2010). Fay doğrultuları üzerinde devamlı sismik hareketler tespit edilmektedir. Yer bilimciler Ege Bölgesi'ndeki deprem hareketliliğinin levha ve kıtaların deformasyonları sonucunda olduğunu belirtmişlerdir. Fay düzlemleri mostra verdikleri kısımlarda genellikle düz olarak görülmekte, nadiren ovaya doğru hafif konkavlık göstermektedirler. Bölgede ayrıca metamorfik ve sedimentler arasında bulunan faylardan sıcak sular çıkmaktadır (Arpat ve Bingöl, 1969).



Şekil 2. a) Çalışma bölgesi haritası, b) Aydın ve çevresinde tespit edilen faylar (Emre ve ark., 2013'ten değiştirilmiştir), c) Kuyular; Kuyu 1; E1, Efeler kuyu 1'i ve Kuyu 2: E2, Efeler kuyu 2'i temsil etmektedir.

Ege bölgesindeki faylarla ilgili sismik aktivite, hem tarihsel (Nazilli depremi: 19 Aralık 1645; Menderes depremi: 20 Eylül 1899; Güzelhisar/Aydın depremi: 22 Şubat 1653), hem de aletsel deprem gözlemleriyle tespit edilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1987, 1995; Altunel, 1999; Ocakoğlu ve ark., 2013; Kaya, 2015). Çalışma alanına ait fay ve deprem haritası incelendiğinde bölgenin yoğun sismik aktiviteye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Büyük Menderes grabenindeki depremlerin odak derinlikleri 5 ile 13 km derinliklerde dağılmış ve 5 ile 6 km derinliklerde yoğunlaşmıştır (Kaya, 2015). Aydın ve çevresi Ege Graben Sistemi içerisinde yer almaktadır ve genellikle D-B doğrultulu normal faylarla sınırlanan çok sayıda bloktan oluşmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996; Yürekli ve Karaca,

2020). Büyük Menderes grabeninde Miyosen'den itibaren K-G ve D-B doğrultulu iki fay grubu gelişmiştir (Utku ve Sözbilir, 2003).

2. Materyal ve Metod

Isı akısı hesaplamalarında farklı yöntemler ve uygulamalar mevcuttur; Silika jeotermometresi ile ısı akısı hesaplama, Bullard yöntemi ile ısı akısı hesaplama, Jeotermal gradyanı ile ısı akısı hesaplama, Curie Nokta Derinliği ile ısı akısı hesaplama ve modelleme yöntemi ile ısı akısı hesaplama yöntemleri sayılabilir.

Jeotermal Gradyan ile Isı Akısı Hesaplama

Jeotermal gradyan; ısının iletimi esnasında sıcaklığın derinlikle değişimine denir. Jeofizik yöntemlerle ısı akısı hesaplaması yaparken sadece düşey yöndeki sıcaklık değişimleri dikkate alınır. Birbirine paralel yüzeyler içinde ısı akısı; ısı iletkenlik katsayısı ve jeotermal gradyanının çarpımına eşittir. Jeotermal gradyanı hesaplayabilmemiz için en az iki farklı derinlik sıcaklık ve derinliklerini bilmemiz gerekir. Ara derinlikteki kayaç ısı iletimi, ısı iletim katsayısını (λ) verir ve laboratuvarlarda ölçüm yapılır.

$$dT/dz = (T_2 - T_1)/(z_2 - z_1) \quad (1)$$

(Bullard, 1954; 1965). Burada,

dT/dz = Düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi

T = Sıcaklık

z = Derinlik

bağıntısı jeotermal gradyanı hesaplamasında kullanılır.

$$q = \lambda \times (dT/dz) \quad (2)$$

(Gooch, 2011). q = Isı akısı

λ = Isı iletkenlik katsayısı

dT/dz = Düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi

bağıntısı ile hesaplanır.

Curie Nokta Derinliği ile Isı Akısı Hesaplama

Curie sıcaklığı, ferromanyetik özellikteki bir maddenin kalıcı mıknatıslığını bırakıp paramanyetik hale geldiği sıcaklık noktasıdır. Yer kabuğu içerisinde kayaçların mıknatıslanma özelliklerini kaybettikleri bu seviyeye Curie Nokta Derinliği denir. Bu yöntemle ısı akısı hesaplamak için öncelikle manyetik

veriler ile Curie Nokta Derinlikleri tespit edilmelidir. Elde edilen Curie Nokta Derinlik verilerine en küçük karelerle ayırma yöntemi uygulanarak ısı akısı hesaplanır. Diğer aşamada Curie sıcaklığını 580°C kabul ederek Curie Nokta Derinliğinden jeotermal gradyan hesaplanmaktadır. Elde edilen jeotermal gradyan değerinden bağıntı (2) yardımı ile ısı akısı hesaplanmaktadır.

Curie Nokta Derinliklerinden elde edilen ısı akısı değerleri sediman vb. etkenlerden bağımsızdır. Kuyu verilerinden elde edilen ısı akısı değerleri ise sediman yapısı, yaşı ve çökelim kalınlığına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu da yöntemin avantajlı yönüdür.

Kuyularda Sıcaklık ve Diğer Ölçümler

Kuyuların sıcaklık ve parametreleri ihtiyaç olan bilgilere göre değişik tipte cihazlar kullanarak elde edilir. Jeotermal arama çalışmalarında kaynakları verimli ve ekonomik kullanmak için gereken bilgiler kuyu testleri ile elde edilmektedir. Kuyu testlerinde basınç ve sıcaklık ölçüm testleri en önemli aşamadır ve bu testler sondaj aşamasında başlayıp üretime kadar devam eder. Bu testler kuyu dinamik ve statik haldeyken yapılabilir. Bu testler Sıcaklık Logu, Gamma Ray Logu, SP Logu, Özdirenç Logu olmak üzere 4 yöntem kullanılarak yapılabilir.

Bu çalışmada Aydın'ın İncirliova bölgesinde yeni açılan iki adet kuyu ölçümleri kullanılmıştır. Efeler-1 kuyusu 3840 metrede tamamlanarak liner ile teçhiz edildikten sonra belirlenen program çerçevesinde suya tahvil edildikten sonra test çalışmalarına başlanmıştır. Kuyu öncelikle kompresör ile üretime alınarak temizlik akışı yapılmıştır. Akışkanın berraklaşması üzerine Water Loss, Enjeksiyon ve birkaç gün sonrasında Statik sıcaklık-basınç ve Coiled Tubbing ile nitrojen kullanılarak sıcaklık - basınç (PT) Build Up ve üretim değerleri rezervuar özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Statik Sıcaklık ve Basınç Ölçümleri

Sinker bar ile kuyu içi kontrolü yapılmış ve ardından Statik PT alınmıştır. İnilebilen maksimum derinlik olan 3840 m'de maksimum sıcaklık 247,07°C, statik basınç ise 5160,55 psi ölçülmüştür.

Dinamik Sıcaklık ve Basınç Ölçümleri

Efeler-1 kuyusu asit ve nitrojen sonrasında yaklaşık 14 saat akışta kalmış ve sonrasında kendiliğinden kesilmiştir. Yatay üretim vanası kapatılarak birkaç gün basınç birikimi için bırakılmış ve sonrasında 46 psi WHP basıncına ulaşınca vana açılmış ve üretim sağlanması üzerine ölçümlere başlanmıştır. Üretim sürekli olarak 144-110 t/s debide devam etmiş ve ölçüler de ortalama Q:124 t/s üretim debisinde alınmıştır. Basınlardan p.i: 0,52 (t/s) bar olarak hesaplanmıştır. Üretim debisinin düşük olmasından dolayı kuyu dibinden itibaren kaynama oluşmakta ve bu da basıncın düşmesine neden olmaktadır. 3500 m'de statik-dinamik basınç farkı 235,37 bar olarak ölçülmüştür. Bu değer oldukça yüksektir. Bu metreden aşağıya iniş sağlanamamıştır. Bir köprü veya dolgu oluştuğu düşünülmektedir.

Basınç Yükselim (Pressure Build Up) Ölçüleri

Kuyu maksimum üretimde ortalama 124 t/s debide akışta tutulmuş, PT 3100 m'ye set edilmiş, WHP 32 psi iken Q: 124 t/s debide bir süre daha akış devam etmiş ve yatay vana 78 sn'de kapatılarak 237 dk build up için beklenmiş ve PT çekilerek test tamamlanmıştır. Build up ölçülerinden p.i: 0,66 (t/s) bar olarak hesaplanmıştır.

Su Kaybı (Water Loss) Testi

Efeler-1 kuyusunda WHP 860 psi basınçta ve ortalama 10 lt/sn debide su basılarak test yapılmıştır. 3500'de WHP basıncının yüksek olmasından dolayı TOOL'u riske etmemek için pompa kapatılmış ve tabana kadar ölçü bu şekilde alınmıştır. 3838'de 2 saat bekleme yapılmış, 3838-2000 m arasındaki sıcaklıklar ölçülmüş ve tam çıkış yapılarak test tamamlanmıştır. Test süresince 220 m³ temiz su kullanılmıştır.

Tek Debili Enjeksiyon (Tde) Testi

Basma sırasında WHP basınçlarının 900 psi seviyelerine çıkmasının görülmesi üzerine enjeksiyon testinde bu basınçları geçirmemek için tek debide enjeksiyon yapılması planlanmıştır. PT tool 2750 m'ye set edilmiş ve tek debide (Q = 10,5 lt/sn) 82 dk temiz su basılmış ve 75 dk fall off için beklendikten sonra test tamamlanmıştır. Test süresince ortalama 50 m³ temiz su kuyuya basılmıştır.

CT Kullanarak Nitrojen ile Temizlik Üretimi

CT Efeler-1 kuyu başına set edildikten sonra inişe başlamış ve yaklaşık 1800 m'den itibaren nitrojen basılarak kuyu tabanına kadar üretim haline iniş yapılmıştır. Kuyu tabanında da bir süre nitrojen basıldıktan sonra yine nitrojen basılarak çıkışa geçilmiştir. Çalışma sırasında üretimde bir kesilme olmayıp sıcaklık 130°C – 138°C arasında yatay hat üzerinde ölçülmüştür. Nitrojen kesildikten yaklaşık 20 dk sonra kuyudaki geliş de kesilmiştir. CT ile temizlik akışında toplam 16 ton nitrojen kullanılmıştır. Kuyu içinden çok miktarda kırıntı gelmiş, savak içerisi tamamen dolmuştur. Özellikle kuvars ağırlıklı kırıntılar bariz şekilde görülmüştür.

CT ile Asit Enjeksiyonu ve Nitrojen ile Temizlik Üretimi

Yapılan PT ölçümleri ve Water Loss testlerinde birden çok seviyenin varlığı nedeniyle uygulama kolaylığı açısından CT ile asitleme tercih edilmiştir. Bu kapsamda bir asit ve nitrojen programı oluşturularak çalışmalara başlanmıştır

Kuyuya uzun süre 3-8 bbl arasında su basılarak soğutulmuş ve hazırlanan %18 HCl karışımı program çerçevesinde ve 2 kademede kuyuya su ile ötelenmiştir. Asit sonrası ölme zamanı beklendikten sonra tekrar nitrojen ile kuyu tabanına kadar inilerek temizlik akışı yapılmış ve CT çekilerek çalışma tamamlanmıştır. Asit operasyonu sonrasında kuyuda kendiliğinden artezyen üretim gözlenmiş ve yaklaşık 14 saat kadar sürmüştür.

Savak-Silencer Üretim Testi

Kuyu bitirme testlerinde, üretim hesaplamaları savak-silencer yöntemine göre aşağıdaki tabloda yapılmıştır. Kuyu tam açıldığında WHP: 38 psi ve savak maksimum 13 cm, 189 t/s ölçülmüş ve yaklaşık 9,5 saat sonra debi 8 cm: 93 t/s değerine kadar düşmüştür. 9,5 saatlik zaman süresinde ortalama üretim yaklaşık 125 t/s olarak ifade edilebilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kuyu Test Önerileri

Kuyuda inilebilen maksimum derinlik 3840 m ve maksimum statik sıcaklık 247,08°C, statik basınç 355,85 bar olarak ölçülmüştür. Dinamik ölçüler WHP 30 psi iken Q= 124 t/s debide alınmıştır. Bu debide vana seviyesinde 120,5°C sıcaklık ve 32 psi basınç ölçülmüştür. 3505 m’de maksimum dinamik sıcaklık 228,42°C ve dinamik basınç 92,87 bar ölçülmüştür. Bu seviyede statik basınç 328 bar ölçülmüştür. Basınçlardan p.i: 0,52 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Bu değer üretim kuyusu için oldukça düşüktür. Bu değer 4-10 arasına artırılabilmesi durumunda doğal olarak debide de 200-300 t/s değerlerine ulaşılabilir. Bunun için kuyuda yeni geliştirme çalışmalarının planlanarak uygulanması gerekmektedir.

Flashing point noktası (kabuklaşma başlangıcı) 2000 m olarak görülmektedir. Debinin artırılabilmesi durumunda bu seviye 700-800 m’lere kadar yükselebilir. Build up ölçülerinden p.i: 0,66 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Ortalama produktivite indeksi 0,59 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Ana rezervuar zonu yaklaşık 200-230°C sıcaklık ve 2400-3500 m arası verilebilir. Üretimin büyük kısmı bu aralıklarda yapılmaktadır. 3800 civarında da az bir geliş olabilir. TDE testlerinden kuyunun i,i 0,75 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Bu değer re-enjeksiyon açısından düşüktür. Yüksek WHP basıncında re-enjeksiyon enerji kayıpları olmuştur.

Kuyu asit sonrasında üretime alındığında yaklaşık 14 saat üretimde kalmış ve kendiliğinden kesilmiştir. Birkaç gün sonra kuyubaşında WHP 45 psi olması üzerine tekrar açılmış ve 22 saat üretim yaptıktan sonra kesilmiştir. Gitgide kuyuda gelişme gözlenmiştir. Kuyu içi pompası kullanılarak üretim yaptırılması mevcut durumda önerilmemektedir. Kuyunun produktivite indeksi çok düşük olduğundan yeterli beslenmeyi sağlayamayabilir. Ancak kuyu içine 300-350 m’e tubing inilerek en az 5 günlük bir üretim yaptırılarak üretimin sürekliliğin gözlenmesi sonraki aşamaların planlanmasında yararlı olacaktır.

Kuyulara Ait Isı Akısı Hesapları

Çalışma kapsamında açılan iki kuyu için elde edilen 53,9±0,08 °C/km ve 40±0,12 °C/km jeotermal gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektif yöntem ile hesaplanan ısı iletkenlik değerleri kullanılarak bu kuyular için ısı akısı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4 ve 5). Efeler 1 kuyusunda elde edilen çalışma alanının jeotermal gradyan değerleri 50 – 76°C arasında değişmektedir. Volkanik olmayan bölgelerde jeotermal gradyanı ortalama olarak kilometre başına yaklaşık 30°C’lik bir artışa

sahiptir (Ketin, 1982). Efeler 1 kuyusunda ölçtüğümüz jeotermal gradyan değerleri kıtaların ortalama değerinden yüksektir.

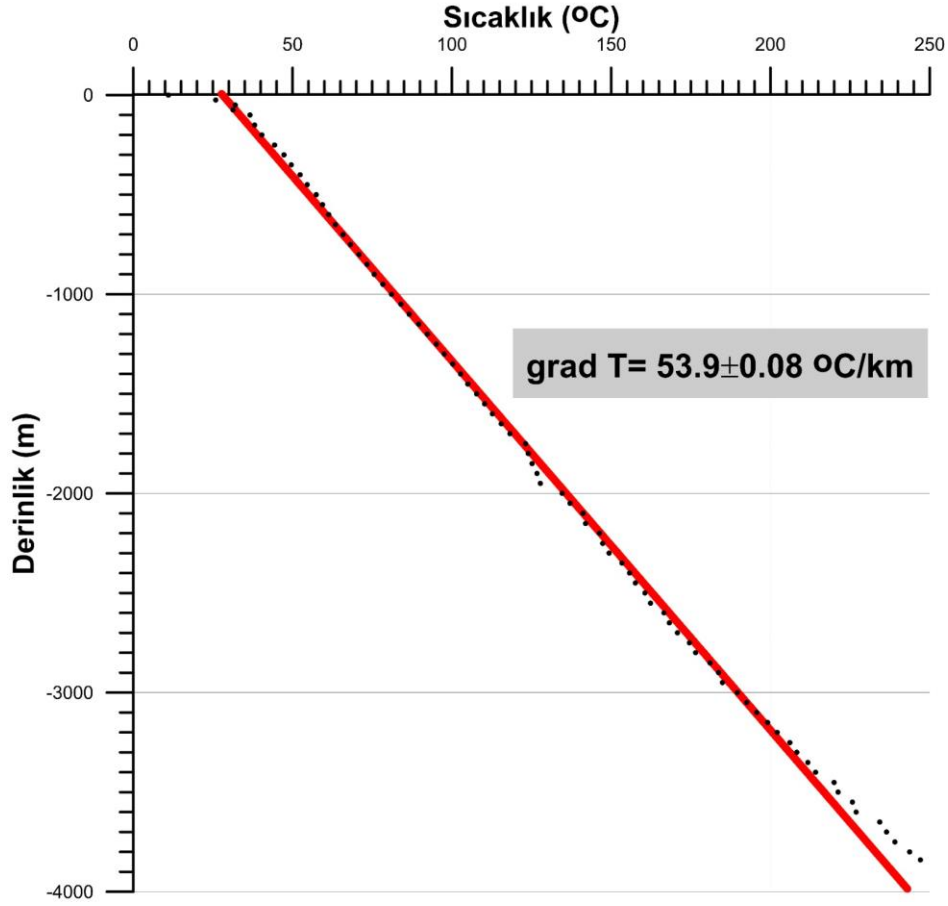
Efeler 1 kuyusu için efektif ısı akısı değeri hesabı, öncelikle bu kuyuya ait ortalama jeotermal gradyan $53,9\pm 0,08$ °C/km sıcaklık değerlerinin derinliğin fonksiyonu olarak çizilerek bu noktalara En Küçük Kareler (EKK) tekniği ile geçirilen doğrunun eğiminden (dT/dZ) hesaplanarak gerçekleştirildi (Şekil 4). Ayrıca bu kuyu için sınıflandırılan dört ayrı tabaka için jeotermal gradyan değerleri sırasıyla 50,82 °C/km, 52,72 °C/km, 63,04 °C/km ve 75,94 °C/km olarak elde edildi. Bu kuyuda derinlere indikçe jeotermal gradyan yükseldiğini söyleyebiliriz (Ünal, 2022).

Efeler 1 kuyusu tabakalara ait elde edilen jeotermal gradyan ve 3840 m derinliğine kadar tespit edilen bu dört tabakaya ait ısıl iletkenlik katsayıları 3,228, 1,921, 3,745, 4,284 W/m°C (Yemen, 1999; Dolmaz, 2004) kullanılarak efektif ısıl iletkenlik değeri 2,75 W/m°C olarak hesaplanmıştır.

$$\lambda_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta z_i}{\lambda_i}} = \frac{1435+1265+800+340}{\frac{1435}{3,228} + \frac{1265}{1,921} + \frac{800}{3,745} + \frac{340}{4,284}} = \frac{3840}{444.55+658.51+213.62+79.36} = \frac{3840}{1396,04} = 2.75 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Buna göre elde edilen 2,75 W/m°C ısı iletkenliği ve $53,9\pm 0,08$ °C/km ortalama jeotermal gradyan kullanılarak Efeler 1 kuyusu için efektif yöntem ile ısı akısı hesabı aşağıdaki gibi yapılarak $148,23 \text{ mW/m}^2$ gibi yüksek bir ısı akısı değerine ulaşılmıştır.

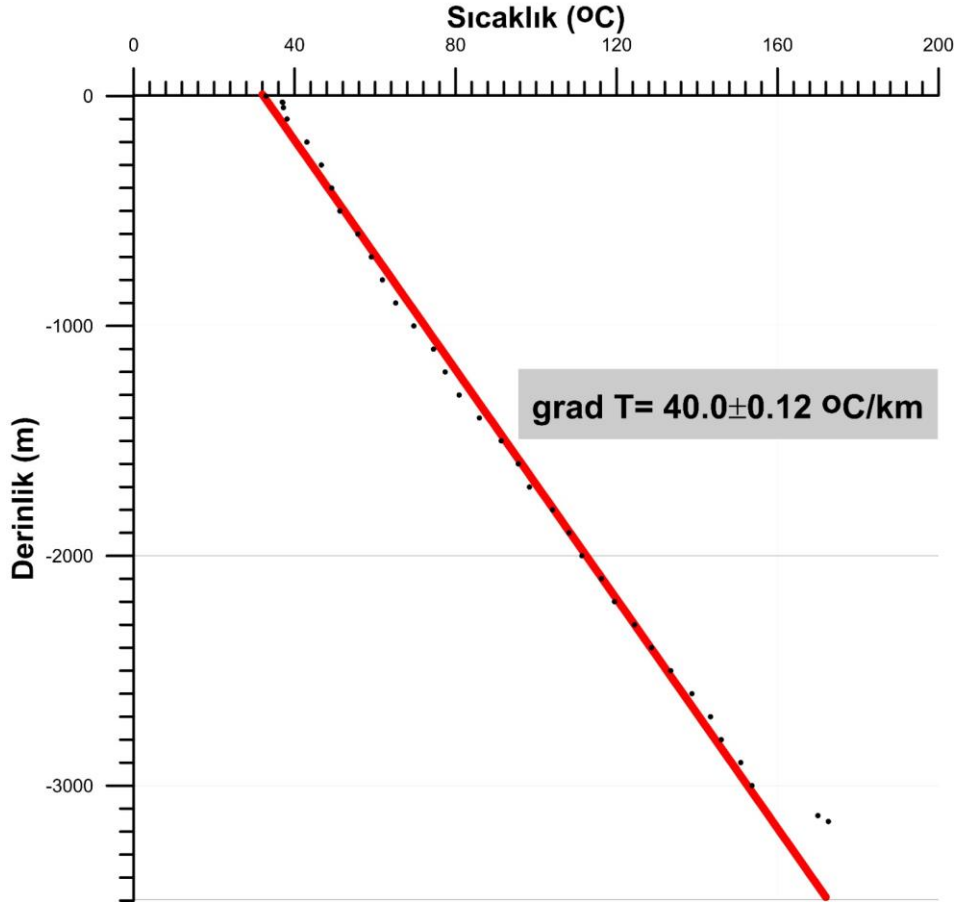
$$q = \lambda_{ef} \times \text{grad } T = 2.75 \times 54 = 2.75 \times 53.9 = 148,23 \text{ mW/m}^2$$



Şekil 4. Efeler 1 kuyusu jeotermal gradyan hesabı için derinlik - sıcaklık grafiği

Aynı bölgede daha sonraki zamanda açılan bir diğer kuyu olan Efeler 2 projesinden elde edilen değerleri kullanarak yine aynı yöntem ile ısı akısı hesaplaması yapılmıştır. Efeler 2 kuyusu için ısı akısı hesabı yapabilmek için, (dT/dZ) ortalama jeotermal gradyan EKK ile geçirilen doğrunun eğiminden $40\pm 0,12$ °C/km olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Buna göre elde edilen $2,75$ W/m°C ısı iletkenliği ve $40\pm 0,12$ °C/km ortalama jeotermal gradyan kullanılarak Efeler 2 kuyusu için ısı akısı hesabı bağıntı (2)'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır ve $110,0$ mW/m² ısı akısı değerine ulaşılmıştır.

$$q = \lambda \times \text{grad } T = 2,75 \times 40 = 110,0 \text{ mW/m}^2$$



Şekil 5. Efeler 2 kuyusu jeotermal gradyan hesabı için derinlik - sıcaklık grafiği

Elde ettiğimiz bu değer, bölgede yaptığımız diğer çalışmadan (Efeler 1) elde edilen ısı akısı ve ayrıca bölgede yapılan diğer çalışmalarla da yakın sonuçlar vermektedir ve yüksek ısı akısı olarak nitelendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında çalışma alanımızda bulunan her iki kuyu için efektif yöntem ile hesaplanan ısı akısı değerlerine ek olarak; Dolmaz ve ark. (2005a)'nın çalışmasında yer alan ve bu kuyuların da içerisinde bulunduğu 36 blok numaralı alan için Curie Nokta Derinliğinden elde edilen 49,57 °C/km jeotermal gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektif yöntemle hesaplanan ısıl iletkenlik değeri (2,75 W/m °C) kullanılarak 136,3 mW/m² ısı akısı değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$q = \lambda \times \text{grad } T = 2.75 \times 49.57 = 136,3 \text{ mW/m}^2$$

4. Sonuç

Batı Anadolu'da Ege Bölgesi'nde Aydın ili sınırları içerisinde İncirlioiva bölgesinde son zamanlarda yeni açılan kuyularda (Efeler-1 ve Efeler-2) kuyu içi termal bilgilerine dayanılarak ilk defa bu lokasyona ait kabuğun üst derinlikleri için ısı akısı hesabı yapılmıştır. Efeler 1 kuyusunda sondaj çalışmaları sırasında alınan numune ve daha öncesinde yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen

sonuçlarla tespit edilen tabakalar bölgenin formasyonu ile aynı özellikleri taşımaktadır (Tablo 1). Efeler 1 kuyusunun bulunduğu yerin istifini aslında üç ana bölüme ayırabiliriz. Tablo 2 ile Efeler 1 kuyusu istif özellikleri verilmiştir.

Bu çalışmada kuyular için (Efeler 1 ve Efeler 2) elde edilen ısı akısı değerlerinin (sırasıyla 148,23 mW/m² ve 110,0 mW/m²) Batı Anadolu'daki önceki çalışmalarda elde edilen ölçülerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. Efeler-1 kuyusuna ait tabakalar ve kuyu içerik bilgileri

| Tabaka sayısı | Derinlik (m) | Tabaka adı | İçerik |
|---------------|--------------|--------------------|----------------------------|
| 1 | 0-1435 | (sedimanter istif) | Kumtaşı-konglomera-kiltaşı |
| 2 | 1435-2700 | (metamorfik) | Kuvars-mika şist |
| 3a | 2700-3500 | (metamorfik) | Mermer içerikli şist |
| 3b | 3500-3700 | (metamorfik) | Siyah şist |

Efeler 1 kuyusunda elde edilen jeotermal gradyan 50 – 76°C aralığında tespit edilmiştir. Aynı bölgede yapılan bir diğer kuyu projesi olan Efeler 2 kuyusunda ise; kıtaların jeotermal gradyan değeri olan 30 - 50°C limitleri dâhilinde 40°C olarak bulunmuştur. Efeler 1 kuyu dibinde 3840 m'de 247,08°C sıcaklık tespit edilmiş iken, Efeler 2 kuyu dibinde 3156 m derinlikte ise 172,64°C sıcaklık tespit edilmiştir. Aynı derinlik olarak bakıldığında ise Efeler 1 kuyusunda sıcaklık ~199°C olduğu görülmektedir. Bu durum Efeler 1 kuyusundaki gradyanın daha yüksek olduğu ile açıklanabilir.

Dolmaz ve ark. (2005a) tarafından Batı ve Güneybatı Anadolu için havadan manyetik veriler kullanarak bölgenin Curie Nokta Derinliklerinin tahmini yapılmış ve haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmada Efeler 1 ve Efeler 2 kuyularının konumları Dolmaz ve ark. (2005a)'daki 36 blok numaralı alan içerisinde yer almaktadır. 90 x 90 km alt blok alanlara sahip havadan manyetik verilerden tahmin elde edilen Curie Nokta Derinlikleri ve buna bağlı olarak ısı akısı hesaplamalarında jeotermal gradyan (Curie sıcaklığı 580 °C/Curie Nokta Derinliği) hesaplaması yapılmıştır. Dolmaz ve ark. (2005a) ısı akısı hesabı için arazide mostra veren yüzey örneklerinden alınan ölçümlerin ortalaması 2,127 W/m°C ısıl iletkenlik değeri kullanılmıştır. Bu blok için 11,7 km gibi sığ Curie Nokta Derinliği tahmini yapılırken, buna karşılık gelen ısı akısı 105,44 mW/m² olarak bulunmuştur.

Curie Nokta Derinliği tahmini ile hesaplanan ısı akısı açılan kuyulardan hesaplanan ısı akısı değerlerine göre bir miktar düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durumun nedeni Dolmaz ve ark. (2005a)'da arazi örneklerinden ölçülen numunelerin ısıl iletkenliği ortalamasının düşük çıkmasıdır. Hâlbuki açılan Efeler 1 kuyusu litolojisine göre efektif olarak 2,75 W/m °C ısıl iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Jeotermal suların, rezervuar kayaktan yüzeye çıkarken temas ettiği kayaların özellikleri, soğuk yeraltı

suları ile karışması, rezervuar kayacın atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz kayaçların çok ince olması gibi nedenlerden dolayı sıcaklıkları düşmektedir. Jeotermal çalışmaların ve derin sondajların maliyeti oldukça yüksektir. Bu sebeple jeotermal çalışma yapılacak sahalarda gerekli ön çalışmalarda, jeofizik yöntemler ve rezervuar - derinlik hesaplanması önemlidir. Çalışma kapsamında 3840 m derinliğe sahip Efeler 1 kuyusu ve 3156 m derinliğe sahip Efeler 2 kuyuları ile ısı akısı hesaplanabildiği gibi, onlardan daha derin ve 11700 m (11,7 km)'lik bir üst kabuk için dolaylı yoldan hesaplanan jeotermal gradyan dayanılarak yerkabuğunun daha geniş bir skalası için 136,3 mW/m² olan bir ısı akısı hesaplanmış olması literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

İlkışık (1995) Menderes Masifi'nde ısı akısı değerinin yaklaşık 100 mW/m² civarlarında olduğunu ve Erkan (2015) Menderes Masifi'nin derin grabenlerinin kenarları boyunca 120-240 °C'lerinde jeotermal sıcaklığın hakim olduğunu belirtmiştir. Sayın ve Gürer (2021)'e göre ise batı Anadolu bölgesi için jeotermal gradyan ve ısı akısı değerleri incelendiğinde yüksek jeotermal gradyan ve ısı akısı alanları D-B ve KD-GB doğrultulu graben sistemleri ile örtüşmektedir. Buna bağlı olarak, jeotermal gradyan ve ısı akısının yüksek olduğu alanlar, kabuğun ince olduğu graben bölgesine karşılık geldiği ve güneybatı Anadolu için düşük ısı akısı ve düşük gradyan elde edildiği belirtilmiştir. Efeler 1 ve Efeler 2 jeotermal gradyan ve ısı akısı hesapları bu çalışmalar ile uyumluluk göstermektedir.

Aydın Bölgesi'ndeki yaklaşık 1600-2000 m aralığında olan verimli kuyular, özellikle Germencik ve Buharkent bölgelerinde büyük santrallerde bulunmaktadır. Çalışma alanı olan Efeler 1 ve Efeler 2 kuyularında tespit edilen üretim derinliği 2400-3500 m aralığında olması ciddi bir fark yaratmaktadır. Derinliğin bu kadar fazla olması hem maliyet hem de yeraltındaki sıcak suyun yukarı çıkması sırasında sıcaklığın düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. Efeler 1 kuyusu istif özellikleri

| Derinlik aralığı (m) | Litoloji açıklaması |
|-----------------------------|--|
| 138-140 | Kumtaşı: saydam, yarısaydam, beyaz, gri, yeşilimsi, köşeli-yarı köşeli, sert, iyi boylanmalı, gevşek kuvars ve metamorfik litik taneler |
| 806-809 | Konglomera: Yeşilimsi, gri, yumuşak opak ile yarısaydam arası, çok renkli çakıl boyutuna varan kuvars feldspat taneleri, yarı yuvarlak ile yarı köşeli, zayıf boylanmalı, kısmen iri ile çok iri taneli kumtaşı, zayıf karbonat çimentolu ve genel kil matriks, zayıf poroziteli Kiltaşı: plastik, yıkanabilir, açık gri, yumuşak |
| 1482-1485 | Kiltaşı: plastik, yıkanabilir, açık gri, yumuşak Kumtaşı: Saydam-yarısaydam, beyaz, gri, yeşilimsi, sarı, sarımsı, köşeli-yarı köşeli, sert, iyi boylanmalı, gevşek kuvars ve metamorfik litik taneler |

| | |
|-----------|---|
| 1629-3563 | Kuvarşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılğan, dağılğan, kuvars ve mika içerikli Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit Kuvarşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılğan, dağılğan Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit. Kuvarşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılğan, dağılğan Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit. Mermer: Beyaz, açık gri, gri, koyu gri, benekli, camsı, sıkı, sert, bloklu, karbonat ağırlıklı Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit Mermer: Beyaz, açık gri, gri, koyu gri, benekli, camsı, sıkı, sert, bloklu, karbonat ağırlıklı Siyah şist: Siyah ve koyu gri renkli, metalik parlaklıkta, şiztozi kloritleşme, milonit Siyah şist: Siyah ve koyu gri renkli, metalik parlaklıkta, şiztozi kloritleşme, milonit |
| 3574 | |

Teşekkür

Yazarlar, Prof. Dr. Ömer Elitok'a litoloji sınıflandırılması konusunda yardımları için teşekkür etmektedirler.

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

- Akartuna M. Nazilli-Aydın hattı kuzeyindeki versanların jeolojisi hakkında. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi 1965; 65: 1-11.
- Akın U., Ulugergerli EU., Kutlu S. The assesment of geothermal potential of Turkey by means of heat flow estimation. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 2014; 149(149): 201-210.
- Altunel E. Geological and geomorphological observations in relation to the 20 September 1899 Menderes Earthquake, Western Turkey. Journal Geology Society 1999; 156: 241-246.

- Ambraseys NN., Finkel CF. Seismicity of Turkey and neighboring regions 1899–1915. *Annual Geophysics* 1987; 5B: 701–726.
- Ambraseys NN., Finkel CF. The Seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review, 1500–1800. Eren Publication, Istanbul, Turkey, 1995.
- Ari-es Enerji. İzmir ili Seferihisar ilçesi RSC-1 Seferihisar jeotermal enerji santrali 1/1000 ölçekli uygulama imar planı açıklama raporu. Arı-Es Enerji, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İzmir 2019.
- Arpat E., Bingöl E. Ege bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler. *MTA Enstitüsü Dergisi* 1969; 73: 1-9.
- Ayan M. Gördes Migmatitleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi* 1973; 81:132-155.
- Balkan E., Erkan K., Şalk M. Thermal conductivity of major rock types in western and central Anatolia regions, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering* 2017; 14(4): 909-919.
- Balkan-Pazvantoğlu E., Erkan K., Şalk M., Akkoyunlu BO., Tayanç M. Surface heat flow in Western Anatolia (Turkey) and implications to the thermal structure of the Gediz Graben. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2021; 30: 991-1007.
- Başarı E. Bafa Gölü doğusunda kalan Menderes Masifi güney kanadının jeolojisi ve petrografisi: *Science Rep. Science Faculty, Ege Üniversitesi* 1970; 102.
- Bilim F. Investigations into the tectonic of Kutahya-Denizli region, lineaments and thermal structure western Anatolia, from using aeromagnetic, gravity and seismological data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 2007; 165(3-4): 135-146.
- Bilim F., Akay T., Aydemir A., Kosaroglu S. Curie point depth, heat-flow and radiogenic heat production deduced from the spectral analysis of the aeromagnetic data for geothermal investigation on the Menderes Massif and the Aegean Region, western Turkey. *Geothermics* 2016; 60: 44-57.
- Blackwell DD. Heat flow and energy loss in the Western United States, *GSA Memoirs* 1978; 152: 175–208.
- Bonner J., Blackwell DD., Herrin ET. Thermal constraints on earthquake depths in California, *Bulletin of the Seismological Society of America* 2003; 93: 2333–2354.
- Brinkmann R. Geotektonische gliederung von Westanatolien: *N.İb. Geol. Palaon.* 1966; 10: 603-618.
- Brinkmann R. Das kristalline grundgebirge von Anatolien: *Geol Rundsch.* 1971; 60: 886-899.
- Bullard EC. The flow of heat through the floor of the Atlantic Ocean. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 1954; 222: 408–429.
- Bullard EC. Historical introduction to terrestrial heat flow, in: ed. by LEE WHK, *Terrestrial Heat Flow, Geophys. Mon.* 1965; No. 8, 1–6, American Geophysics Union, Washington.
- Demirtaş R., Yılmaz R. Türkiye'nin sismotektoniği. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara 1996.

- Dolmaz MN. Batı Anadolu'nun Güney Kesiminin Curie nokta derinliklerinin saptanması ve jeodinamik olaylar ile ilişkisi. İstanbul Üniversitesi Doktora Tezi (yayımlanmamış), 2004.
- Dolmaz MN., Hisarlı ZM., Ustaömer T., Orbay N. Curie point depths based on spectrum analysis of the aeromagnetic data. West Anatolian Extensional Province, Turkey, *Pure and Applied Geophysics* 2005a; 162(3): 571-590.
- Dolmaz MN., Ustaömer T., Hisarlı Z., Orbay N. Curie Point Depth variations to infer thermal structure of the crust at the African-Eurasian convergence zone, SW Turkey. *Earth, Planets and Space* 2005b; 57(5): 373-383.
- Dora OÖ. Menderes Masifinde alkali feldispatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarda kullanılması. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bulteni* 1975; 18(2): 111.
- Dündar, G. Ege Bölgesi'nin sismotektoniği. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s.71. İzmir, Türkiye, 2010.
- Egeran, N., Yener, H. Notes explicatives de la carte geologique de la Turquie, Faille "Izmir" Publish Institute. MTA, 1944.
- Emre, Ö., Duman, TY., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. Şaroğlu, F. Açıklamalı Türkiye diri fay haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye, 2013.
- Erbek, E., Dolmaz, MN. Investigation of the thermal structure and radiogenic heat production through aeromagnetic data for the southeastern Aegean Sea and western part of Turkey. *Geothermics* 2019; 81: 113-122.
- Erkan, K., Blackwell, DD. A Thermal test of the post-subduction tectonic evolution along the California transform margin. *Geophysics Research Letters* 2008; 35: L07309.
- Erkan, K., Blackwell, DD. Transient thermal regimes in the Sierra Nevada and Baja California outer arcs following the cessation of Farallon subduction. *Journal of Geophysical Research* 2009; 114: B02107.
- Erkan, K. Geothermal investigations in Western Anatolia using equilibrium temperatures from shallow boreholes. *Solid Earth* 2015; 6(1): 103-113.
- Fytikas, M., Geothermal exploitation in Greece. In: Strub, A.S. and Ungemach, P.(Eds.). 2nd Int. Sem. on the Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg. Reidel Publication Dordrecht 1980; 213-237.
- Graefianks, PDe. Menderes Masifi (Türkiye'nin GB'sı) metamorfik kayalarındaki grenaların yapısı hakkında; *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi* 1965; 65: 11-20.
- Gooch JW. Fourier's Law of Heat Conduction. In: Gooch J.W. (eds) *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. Springer, New York, NY. 2011.
- Hisarlı, M. Determination of Curie point depths in Edremit-Susurluk region, *Jeofizik* 1995; 9(10): 111-117.
- İlkışık, OM. Kuzeybatı Anadolu'da ısı akısı dağılımı. *Jeofizik*, 1989; 3: 83-91.

- İlkışık, OM. Batı Anadolu'da ısı akısı değerlerinin dağılımı. Mühendislik Jeolojisi Bülteni 1991; 12: 35-39.
- İlkışık, OM. Silica heat flow estimates and lithospheric temperature in Anatolia. Proceedings of XI.Conference of World Hydrothermal Organization 13-18.5, 1992, 92-106, İstanbul-Pamukkale.
- İlkışık, OM. Regional heat flow in Western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs. Tectonophysics 1995; 244: 175-184.
- İlkışık, OM. Ege Bölgesi'nde yerkaşının jeotermik yapısı, Teknik Rapor, İstanbul 2008.
- İzdar, KE. Introduction to geology and metamorphism of the Menderes Massif of Western Turkey. Petroleum Exploration Society of Libya 1971; 495-500.
- Jaeger, JC. Application of the theory of heat conduction to geothermal measurements terrestrial heat flow (Geophysical Monograph Series 8) ed H.K. Lee (Washington, DC: American Geophysical Union) 1965; 24-50.
- Kaya, A. The effects of extensional structures on the heat transport mechanism: an example from the Ortakçı geothermal field (Büyük Menderes Graben, SW Turkey). Journal of African Earth Sciences 2015; 108: 74-88.
- Ketin, İ. Anadolu'nun tektonik birlikleri: Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi 1966; 66: 20-34.
- Ketin İ. Genel jeoloji yer bilimlerine giriş cilt 1. İTÜ Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi İstanbul, 1982.
- Koday, Z., Akbaş, F. Aydın İlinin idari coğrafya analizi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2018; 57: 63-91.
- Nebert, K., Ronner, F. Menderes Masifiğinde ve çevresinde alpidik albitizasyon olayları; Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi 1956; 48: 83-96.
- Ocakoğlu, F., Açıklın, S., Güneş, G., Özkes, Dirik, K., Özsayın, E. Was the 1899 Menderes Valley Earthquake a double earthquake? Historical and Paleosismological Constraints. Journal Asian Earth Science 2013; 67-68:187-198.
- Pfister, M., Ryback, L., Şimşek, Ş. Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea Region (NW Turkey): Surface heat flow density in an area of active continental extension. Tectonophysics 1998; 291(1-4): 77-89.
- Sayın, N., Gürer A. An approach for heat flow determination in the absence of geothermal gradient measurements: west Anatolia example. Arabian Journal of Geosciences 2021; 14: 381.
- Scotford, DM. Metasomatic augen gneiss in Greenschist facies, Western Turkey. Geology Society, America Bulletin 1969; 80: 1079-1094.
- Schuling, RD. Menderes Masifine ait bir gözlü gnays üzerinde zirkon etüdü. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi 1958; 51: 38-41.
- Schuling, RD. On the petrology, age and structure of the Menderes Migmatites Complex (SW Turkey). Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi 1962; 58: 71-84.

- Serpen Ü., Aksoy N., Öngür T., Korkmaz ED. Geothermal energy in Turkey. 2008 update, *Geothermics* 2009; 38: 227–237.
- Şenol M. Aydın İli 2012 yılı çevre durum raporu. Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Aydın,2013.https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Aydin_icdr2012.pdf. (Erişim tarihi:17.01.202).
- Tester JW., Anderson B., Batchelor A., Blackwell D., DiPippo R., Drake E., Garnish J., Livesay B., Moore, MJ., Nichols, K., Petty, S., Toksöz, MN., Veatch Jr., RW., Baria, R., Augustine C., Enda, M., Negraru, P., Richards, M. The Future of geothermal energy: impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st Century, Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- Tezcan AK., Turgay MI. Heat flow and temperature distribution in Turkey, ed. by: Cermak, V., Haenal, R., and Zui, V. *Geothermal Atlas of Europe*, Herman Haack Verlag, Gotha, Germany 1991; 84–85.
- Utku M., Sözbilir, H. Aydın-Nazilli Fayının paleosismolojik ön bulguları, Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı-IV, Bildiriler Kitapçığı, Makaleler, s. 120-128, 29-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Ünal G. Aydın Bölgesi'nde Yeni İki Kuyu'da ısı akısı hesabı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, Türkiye, 2022.
- Wipperf J. Menderes Masifinin Alpidik dağ teşekkülü için durumu. *Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi* 1964; 62: 71-79.
- Yanıktepe B., Parlak TK., Kara O. Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 4(3): 452-465.
- Yemen H. Ege Bölgesi ısı akısı dağılımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s.101, Isparta, Türkiye, 1999.
- Yürekli H., Karaca Ö. Liquefaction potential analysis and mapping of alluvium soil: a case study in Nazilli-Aydın (West Turkey). *Celal Bayar University Journal of Science* 2020; 16(1): 15-23.
- URL-1 <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/3.jpg>. (Erişim tarihi: 27.06.2022)

İş Güvenliği Uzmanlarında Stres ile Sosyo-Demografik Özellikler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Ahter Şimal KÖROĞLU¹, Belkıs ZERVENT ÜNAL^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana

²Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

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

²<https://orcid.org/0000-0001-8591-2217>

*Sorumlu yazar: belzer@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.03.2022

Kabul tarihi:02.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İş güvenliği uzmanı

İş sağlığı ve güvenliği

İş güvenliği uzmanlarında stres

ÖZ

Bu çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği alanında çalışan iş güvenliği uzmanlarında görülen stres ile sosyo-demografik özellikler (cinsiyet, eğitim durumu, alınan ücret, uzmanlık sınıfı vb.) arasındaki ilişki irdelenmeye çalışılmıştır. Araştırma, e-anketi yanıtlayan 308 uzman ile yürütülmüştür. Veriler SPSS® 22.0 istatistiksel paket program ile analiz edilmiştir. Anketin birinci kısmında sosyo-demografik özelliklere yönelik sorular, ikinci kısımda ise iş güvenliği uzmanlarında stres varlığını değerlendirmeye yönelik sorular yer almaktadır. Çalışmanın sonucunda, iş güvenliği uzmanlarında strese neden olan başlıca etkenler ortaya konulmuştur. Buna göre işveren müdahalesi ve mevzuatın uygulanmasında yaşanan zorluklar uzmanların çalışma yaşamlarında çoğunlukla şikâyetçi oldukları durumlar olmakla beraber doküman hazırlama sürecinin uzunluğu, sorumluluğun fazla olması gibi etkenler diğer stres kaynakları olarak ifade edilmiştir.

Investigation of the Relationship Between Stress and Socio-Demographical Properties in Occupational Safety Specialists

Research Article

Article History:

Received: 01.03.2022

Accepted: 02.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Occupational safety specialist

Occupational health and safety

Stress in occupational safety specialists

ABSTRACT

In this study, the relationship between the stress seen in occupational safety experts and socio-demographic properties (gender, educational status, salary, specialization class, etc.) was tried to be examined. The research was carried out with 308 experts who answered the e-survey. Data were analyzed with SPSS® 22.0 statistical package program. In the first part of the questionnaire, there are questions about socio-demographic characteristics, and in the second part, questions about evaluating the stress presence in occupational safety experts. As a result of the study, the main factors causing stress in occupational safety experts were revealed. According to this, employer intervention and difficulties in the implementation of the legislation are the situations that experts frequently complain about in their working life, while the length of the document preparation process and high responsibility are expressed as other sources of stress.

To Cite: Köroğlu AŞ., Zervent-Ünal B. İş Güvenliği Uzmanlarında Stres ile Sosyo-Demografik Özellikler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 538-551.

1. Giriş

Geçmişten günümüze yaşanan iş kazalarının artarak devam etmesi sebebiyle oluşan gayridisiplini süreçlerin kontrol altına alınması ve en temel hak olan yaşam hakkının korunması amacıyla iş sağlığı ve güvenliği alanının kaçınılmaz bir gereklilik olduğu anlaşılmıştır. İş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmalarının başlıca amacı, sağlıklı bir çalışma hayatına zemin hazırlayarak çalışanın karşılaşılabileceği her türlü riskleri belirleyip ortadan kaldırmak veya en aza indirmektir. Bu nedenle güvenli bir çalışma ortamı yaratılmasında iş güvenliği uzmanlarının rolü büyüktür. İş güvenliği uzmanı, 6331 sayılı kanunda *“Usul ve esasları yönetmelikle belirlenen, iş sağlığı ve güvenliği alanında görev yapmak üzere Bakanlıkça yetkilendirilmiş, iş güvenliği uzmanlığı belgesine sahip, Bakanlık ve ilgili kuruluşlarında çalışma hayatını denetleyen müfettişler, mühendislik veya mimarlık eğitimi veren fakültelerin mezunları ile teknik elemanlar”* olarak tanımlanmıştır (Kale Akboğa ve ark., 2018). İş güvenliği uzmanlığı belgelerinden (C) sınıfı belgeye sahip olanlar az tehlikeli sınıfta, (B) sınıfı belgeye sahip olanlar az tehlikeli ve tehlikeli sınıfta, (A) sınıfı belgeye sahip olanlar ise tüm tehlike sınıflarında yer alan işletmelerde görev alabilirler (Okuyucu, 2019). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 10. maddesine göre; uzmanlar çalışma ortamında hayati tehlikeli bir durum tespit ettiğinde tehlike giderilinceye kadar işin durdurulması için işverene başvurma yetkisine sahiptir. Ayrıca iş güvenliği uzmanı, mevzuat hükümlerinin gerekli kıldığı koşulların oluşturulmaması ve gerekli tedbirlerin alınmaması halinde durumu işyerinin bağlı bulunduğu Çalışma ve İş Kurumu İl Müdürlüğü'ne yazılı olarak bildirmekle yükümlüdür. Mali olarak işverene bağımlı olan iş güvenliği uzmanı, ilgili mevzuattan kaynaklı yükümlülüklerini yerine getirirken işverenin aleyhine davranmış görünecektir. Mevzuattaki yetersizlikler, işverenin maliyet düşürme politikaları ve çalışanların tedbirlere uymaktaki ihmalleri gibi sebepler bir araya geldiğinde iş güvenliği uzmanının sahada ciddi anlamda zorluk çektiği ve yoğun stres altında çalıştığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan literatür taraması sonucu, iş güvenliği uzmanlarının yaptıkları işten kaynaklanan stres düzeylerini ve strese neden olan etmenleri belirlenmeye yönelik çeşitli çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Bu eserler incelendiğinde genel olarak uzmanlarda stresin nedenleri olarak; iş güvenliği uzmanlarına fazla sorumluluk yüklenmesinden ve işverene bağımlılığın göz önünde bulundurularak yaşanan olumsuzluklardan, iş güvencesizliklerinden, işveren müdahalesi ve baskısının fazla olmasından, düşük ücret politikalarından, mevzuattaki hızlı değişikliklerden, sorumluluk ve yükümlülüklerin adaletli dağılım göstermemesinden, çalışanların duyarsız davranışlarından bahsedilmiştir (Orhan, 2014; Akboğa ve ark., 2015; Arslan ve Ulubeyli, 2016; Karakaya ve Sancı, 2017; Aksoy, 2019; Aksoy ve Mamatoğlu, 2019; Yılmaz ve ark., 2019; Nikolic ve ark., 2021; Köroğlu, 2022). Ayrıca iş güvenliği uzmanlarının Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimleri (OSGB) aracılığı ile istihdam edilmesinin yoğun çalışma saatleri ve düşük ücretlerle çalışma gibi sorunlara yol açtığını vurgulamıştır (Taşkıran, 2016; Cerev, 2018; Karakaya, 2018). Bunun yanı sıra, uzmanların ücretlerini denetledikleri kuruluştan almaları nedeniyle iş güvenliği uygulamaları açısından baskı altında çalışmak zorunda kaldıkları ve bağımsız olabilmeleri için ücret ve istihdam ilişkisinin

ortadan kalkması gerektiği belirtilmiştir (Namal ve ark., 2016; Kayan ve ark., 2017). Uzmanların uzmanlık sınıflarına göre işe ilişkin iyilik algılarının, mutluluk düzeylerinin ve yaşam tatminlerinin farklılık gösterdiği de yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Aytaç ve ark., 2020). Yapılan bir araştırmanın sonucuna göre belirli iş deneyimi kazandıktan sonra profesyonelleşen A sınıfı iş güvenliği uzmanlarının B ve C sınıfına göre daha az stres yaşadıkları görülmüştür (Duman ve ark., 2019). Prosedürlerden ve uygulamadan kaynaklı sorunlar, istihdam güvencesizlikleri, ekonomik sorunlar, çalışma koşullarındaki belirsizlik, iş stresi ve iş tatminsizliğinin mutluluk düzeyi üzerinde etkili sebepler olduğu ortaya konulmuştur (Aytaç ve ark., 2020).

Okuyucu (2019) yapmış olduğu tez çalışmasında, sorumlulukları ağır olan iş güvenliği uzmanlarına karşı devletin daha koruyucu bir tavır sergilemesi ve işvereninde İSG konusunda gerekli kurallara uyması gerektiğini belirtmiştir. İş güvenliği uzmanlarının iş hayatlarında yaşadıkları stres ve kaygıyı azaltmaya yönelik olarak literatürde bazı öneriler sunulmuş olup, bunlar OSGB sistemine son verilmesi, iş güvenliği hizmetinin OSGB aracılığı ile değil kamu eliyle yürütülmesi, uzmanlara devlet tarafından yaptırım gücü sağlanması ve sorumlu olunan işyeri sayısına sınırlama getirilmesi şeklinde sıralanabilmektedir (Taşkıran, 2016; Aca ve Gözel, 2020). Sadece Türkiye değil farklı ülkelerde de (örneğin Hırvatistan) yapılan anket çalışmaları sonucu İSG uygulamalarında devlet kontrolünün artırılması ve uzman-işveren iletişiminin güçlendirilmesi gerektiği ortaya konulmuştur (Krišto ve Batak, 2012).

Konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmaların genellikle iş güvenliği uzmanlarında strese neden olan faktörlerin belirlenmesine ve iş tatmin düzeylerinin ölçülmesine yönelik çalışmalar olduğu, az sayıda yayında ise iş güvenliği uzmanlık sınıfının uzmanların stres düzeyine etkisinin irdelendiği görülmüştür. Çalışma kapsamında ise, sosyo-demografik özelliklerle (cinsiyet, eğitim durumu, alınan ücret, uzmanlık sınıfı vb.) İSG alanında çalışan iş güvenliği uzmanlarında görülen stres durumu arasındaki ilişki irdelenmeye çalışılmıştır.

2. Metot

Araştırmada veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. Uzmanların oluşturdukları topluluklar ve belirli firmalara yapılan ziyaretler aracılığı ile aktif olarak çalışan iş güvenliği uzmanlarına ulaşılarak e-anket uygulanmıştır. Anket formu 2 bölümden ve 24 sorudan oluşmaktadır. İlk bölümde sosyo-demografik özelliklere yönelik sorular ve ikinci bölümde ise iş güvenliği uzmanlarında stres varlığını değerlendirmeye yönelik sorular yer almaktadır. Çalışmada kullanılan stres durumu belirleme ölçeği oluştururken literatürde yer alan benzer çalışmalar detaylı olarak incelenmiş, uzman görüşü alınmış ve ölçeğin güvenilirliğini ölçmek için Cronbach's Alpha testi (test değeri=0,765 çıkmıştır), geçerliğini test etmek için de açımlayıcı faktör analizi uygulanmıştır.

“Sosyo-demografik Özellikler” bölümünde; katılımcıların cinsiyeti, yaşı, eğitim durumları, mezun olunan lisans/ ön lisans programı, uzmanlık sınıfları, uzmanlık yapma şekilleri, çalışma süreleri, alınan

ücret ve kaç adet firmadan sorumlu olduğuna dair toplam 10 adet seçmeli test tipi soru bulunmaktadır.

İş güvenliği uzmanlarının stres durumlarının değerlendirildiği bölümde, toplam 14 adet kapalı uçlu, iki adet seçenekli soru bulunmaktadır. Bu sorular oluşturulurken aktif çalışan iş güvenliği uzmanlarıyla yapılan görüşmelerden, daha önce farklı amaçlarla hazırlanan anketlerden, konuyla ilgili bilimsel verilerden ve geçerliği-güvenirliği kanıtlanmış ölçeklerden yararlanılmıştır.

Söz konusu çalışma, 2019 yılında başlamış olup anket formunun sisteme yüklendiği tarih itibari ile Türkiye’de aktif olarak çalışan tüm iş güvenliği uzmanları araştırma evrenini oluşturmaktadır. Anketin sistemde açık olduğu dönem içinde e-anketi yanıtlayan 308 uzman araştırmanın örneklemini oluşturmaktadır. Doğru ve objektif bulgulara ulaşabilmek amacıyla ankete verilen cevaplar irdelenmiş olup kontrol sorularına tutarsız cevap veren A Sınıfı belgesi olan 19, B Sınıfı belgesi olan 35, C Sınıfı belgesi olan 32 olmak üzere toplam 86 uzmanın cevapları değerlendirmeye alınmamış ve anket sonuçları 222 katılımcı üzerinden değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Tez kapsamında uygulanan anket çalışması sonucu elde edilen bulgular SPSS® 22.0 paket programı kullanılarak tablolastırılmış ve grafiksel olarak analiz edilmiştir.

Ankete Katılan Uzmanların Sosyo-Demografik Özelliklerine Göre Dağılımı:

Araştırma grubuna dâhil edilen uzmanların sosyo-demografik özelliklerine göre dağılım (cinsiyet, yaş aralığı, eğitim durumu, mezun olunan lisans/ön lisans programı, uzmanlık sınıfı, uzmanlık yapma şekli, uzman olarak çalışma süresi, çalışma karşılığında alınan ücret, günlük çalışma saati ve sorumlu olunan firma sayısı) Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1’de görüldüğü üzere araştırmaya dahil edilen uzmanların yarısından fazlasının erkek, yaklaşık yarısının 31-40 yaş aralığında, büyük çoğunluğunun lisans ve yüksek lisans düzeyinde eğitime sahip oldukları görülmektedir. Uzmanların yaklaşık olarak yarısının mühendislik fakültesi mezunu olması sonradan iş güvenliği uzmanlığı alanına yöneldiklerini göstermektedir. Uzmanların büyük çoğunluğu OSGB’de hizmet vermektedir. Yaklaşık olarak yarısı 1-5 yıldır iş güvenliği uzmanlığı yapmaktadırlar. Çalışma karşılığında alınan ücret, birbirine çok yakın bir oranla 2100-4000 ve 4100-6000 TL arasındadır. Yaklaşık olarak yarısı günde 8 saat çalışmakta ve 1 firmadan sorumlu tutulmaktadır.

Tablo 1. Sosyo-demografik özelliklerin dağılımı (N=222)

| Sosyo-Demografik Özellikler | | Kişi Sayısı (N) | Toplam İçindeki Payı (%) | Sosyo-Demografik Özellikler | | Kişi Sayısı (N) | Toplam İçindeki Payı (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|--|--------------|-----------------|--------------------------|
| Cinsiyet (Soru-1) | Kadın | 90 | 40,54 | Uzman Olarak Çalışma Süresi (Soru-7) | 1 yıldan az | 56 | 25,23 |
| | Erkek | 132 | 59,46 | | 1-5 yıl | 98 | 44,14 |
| Yaş Aralığı (Soru-2) | 20-30 | 83 | 37,39 | | 6-10 yıl | 57 | 25,68 |
| | 31-40 | 100 | 45,05 | | 10 yıl üzeri | 11 | 4,95 |
| | 41-50 | 33 | 14,86 | Çalışma Karşılığında Alınan Ücret (Soru-8) | 2000 altı | 11 | 4,95 |
| | 51 ve üzeri | 6 | 2,70 | | 2100-4000 | 80 | 36,04 |
| Eğitim Durumu (Soru-3) | Ön Lisans | 31 | 13,96 | | 4100-6000 | 76 | 34,23 |
| | Lisans | 118 | 53,15 | | 6100-8100 | 34 | 15,32 |
| | Yüksek Lisans | 65 | 29,28 | | 8000 üzeri | 18 | 8,11 |
| Mezun Olunan Lisans Programı (Soru-4) | Doktora | 8 | 3,60 | Günlük Çalışma Saati (Soru-9) | 7 saatten az | 16 | 7,21 |
| | Mühendislik Fakültesi | 99 | 44,59 | | 7 saat | 14 | 6,31 |
| | Mimarlık Fakültesi | 8 | 3,60 | | 8 saat | 98 | 44,14 |
| Uzmanlık Sınıfı (Soru-5) | Fizik/Kimya/Biyoloji Bölümü | 28 | 12,61 | | 9 saat | 62 | 27,93 |
| | İş Sağlığı ve Güvenliği Böl. | 78 | 35,14 | | 9 saat üzeri | 32 | 14,41 |
| | Teknik Eğitim Fakültesi | 9 | 4,05 | Sorumlu Olunan Firma Sayısı (Soru-10) | 1 | 99 | 44,59 |
| Uzmanlık Yapma Şekli (Soru-6) | A | 27 | 12,16 | | 2-5 | 46 | 20,72 |
| | B | 118 | 53,15 | | 6-10 | 19 | 8,56 |
| | C | 77 | 34,68 | | 11 ve üzeri | 56 | 25,23 |
| | Bireysel | 77 | 34,68 | | | | |
| | OSGB'ye bağlı | 136 | 61,26 | | | | |
| | Kamu | 8 | 3,60 | | | | |

“Stres Durumu Ölçme” Sorularına Verilen Cevapların Dağılımı:

Bu bölümde, uzmanların verdikleri yanıtlara göre mesleğin en olumlu/olumsuz yönlerini ve stresin nedenlerini değerlendirmeye yönelik sorulara verilen cevaplar incelenmiştir.

- Uzmanlar açısından mesleğin olumsuz yönlerine ilişkin dağılım (Soru 11) Tablo 2’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Uzmanlar, yoğunlukla işveren müdahalesinin fazla olması ve mevzuatın uygulanmasında yaşanan zorluklardan şikâyetçi olmuşlardır.

Tablo 2. Uzmanlar açısından mesleğin olumsuz yönlerine ilişkin dağılım

| Uzmanlara göre mesleğin en olumsuz yönü | Kişi Sayısı (N) | Toplam İçindeki Payı (%) |
|---|-----------------|--------------------------|
| İşveren müdahalesinin fazla olması | 56 | 25,23 |
| Mevzuatın uygulanmasında yaşanan zorluklar | 50 | 22,52 |
| Stres seviyesinin yüksek olması | 31 | 13,96 |
| Sorumluluğun fazla olması | 31 | 13,96 |
| Ücretlerin yetersizliği | 19 | 8,56 |
| İş güvencesinin olmaması | 15 | 6,76 |
| Yoğun tempoda fazla çalışmak | 10 | 4,50 |
| Hepsi | 5 | 2,25 |
| Diğer (Ankette katılımcılara seçenek olarak sunulmayan, uzmanlar tarafından beyan edilen olumlu taraflar) | 5 | 2,25 |

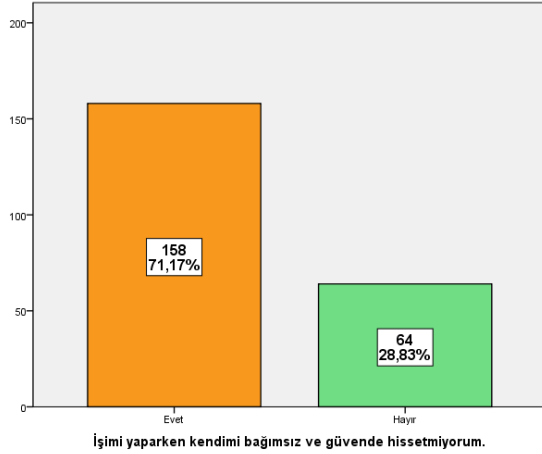
- Uzmanlar açısından mesleğin olumlu yönlerine ilişkin dağılım (Soru 12) Tablo 3’te ayrıntılı olarak verilmiştir. Uzmanlar yoğunlukla toplumsal sorumluluğu yerine getirmekten dolayı manevi tatmin

sağlamasının yanı sıra çalışma sahasının geniş olması, esnek çalışmaya imkân tanınması ve ek bir istihdam olanağı sunması olumlu özellikler olarak tercih edilmiştir.

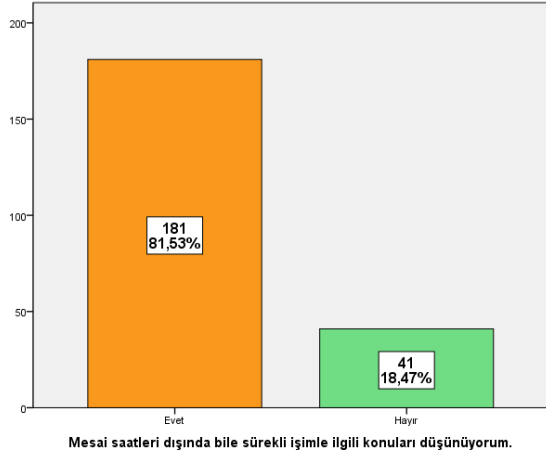
Tablo 3. Uzmanlar açısından mesleğin olumlu yönlerine ilişkin dağılım

| Uzmanlara göre mesleğin en olumlu yönü | Kişi Sayısı (N) | Toplam İçindeki Payı (%) |
|---|--------------------|-----------------------------|
| Toplumsal sorumluluğu yerine getirmekten dolayı manevi tatmin sağlanması | 65 | 29,28 |
| Çalışma sahasının geniş olması | 45 | 20,27 |
| Esnek çalışmaya imkan tanınması | 37 | 16,67 |
| Ek bir istihdam olanağı sunması | 34 | 15,32 |
| Toplumsal statüsünün yüksek olması | 14 | 6,31 |
| Mesleki tatmin sağlanması | 10 | 4,50 |
| Maddi açıdan tatmin edici olması | 4 | 1,80 |
| Diğer (Ankette katılımcılara seçenек olarak sunulmayan, uzmanlar tarafından beyan edilen olumlu taraflar) | 9 | 4,05 |
| Cevapsız | 4 | 1,80 |

- Uzmanların işlerini yaparken kendilerini bağımsız ve güvende hissetmeme durumlarının irdelendiği Soru-13'e verilen cevaplara göre uzmanların % 71,17'si (n=158) işini yaparken kendini bağımsız ve güvende hissetmemektedir (Şekil 1).
- Anketteki Soru-14'e verilen cevaplara göre Şekil 2'de görüldüğü gibi uzmanların %81,53'ü (n=181) mesai saatleri dışında bile sürekli işleriyle ilgili konuları düşündüklerini belirtmişlerdir.

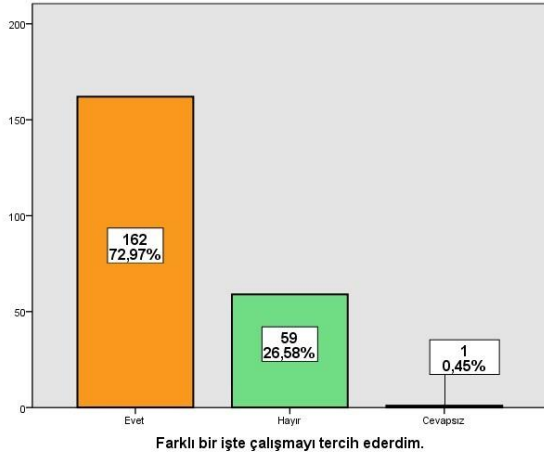


Şekil 1. Soru 13'e verilen yanıtların dağılımı

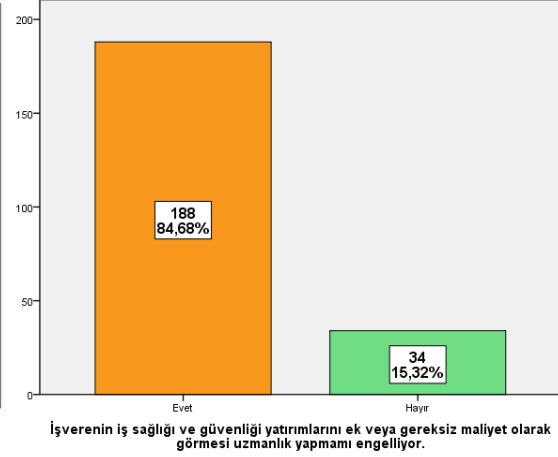


Şekil 2. Soru 14'e verilen yanıtların dağılımı

- Farklı bir işte çalışmayı tercih etme durumunun incelendiği Soru-15'e verilen cevaplara göre uzmanların %72,97'si (n=162) farklı bir işte çalışmayı tercih ettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 3).
- Soru-16'ya verilen cevaplara göre Şekil 4'den de anlaşıldığı gibi uzmanların %84,68'i (n=188) işverenin İSG yatırımlarını ek veya gereksiz maliyet olarak gördüğünü belirtmişlerdir.

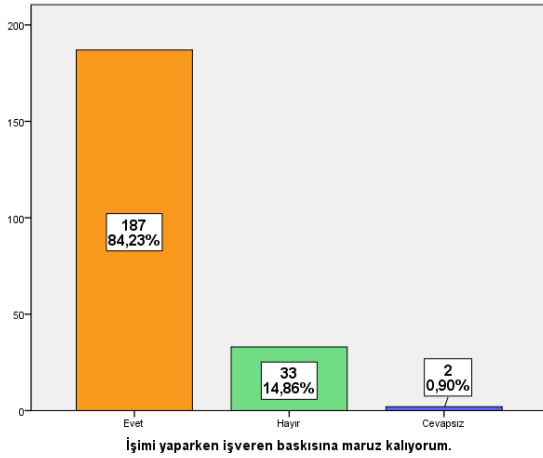


Şekil 3. Soru 15'e verilen yanıtların dağılımı

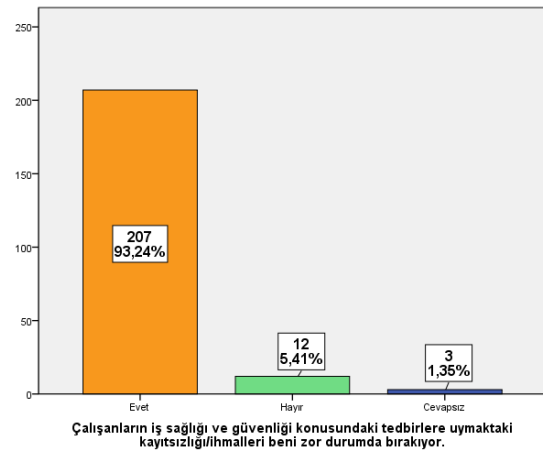


Şekil 4. Soru 16'ya verilen yanıtların dağılımı

- Uzmanların işlerini yaparken işveren baskısına maruz kalma durumunun irdelendiği Soru-17'de uzmanların %84,23'ü (n=187) işini yaparken işveren baskısına maruz kaldığını belirtmişlerdir (Şekil 5).
- Soru-18'e verilen cevaplara göre uzmanların %93,24'ü (n=207) çalışanların İSG konusundaki tedbirlere uymadaki kayıtsızlığı/ihmallerinin kendilerini zor durumda bıraktığını belirtmişlerdir (Şekil 6).

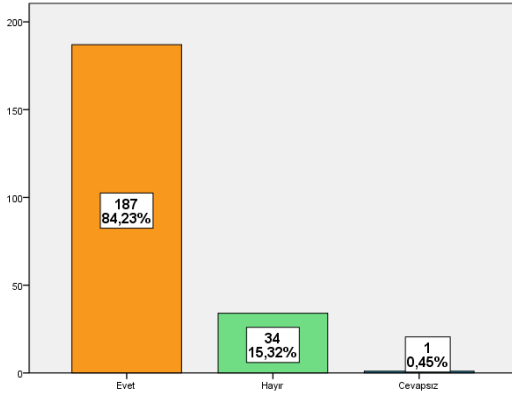


Şekil 5. Soru 17'ye verilen yanıtların dağılımı



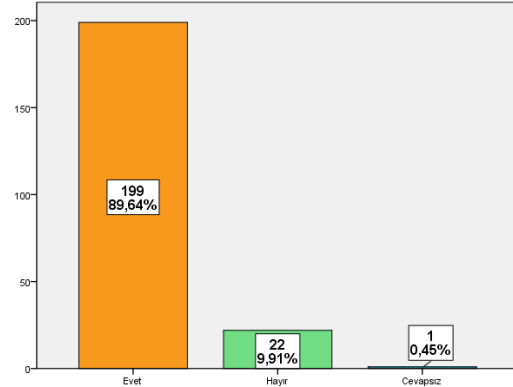
Şekil 6. Soru 18'e verilen yanıtların dağılımı

- İşverenin İSG alanındaki maliyet düşürme politikalarının uzmanlık yapılmasına engel olma durumu incelendiğinde (Soru-19'a verilen cevaplara göre) uzmanların %84,23'ü (n=187) işverenin maliyet düşürme politikalarının uzmanlık yapmalarına engel olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 7).
- Soru-20'ye verilen cevaplara göre uzmanların %89,64'ü (n=199) İSG uygulamalarındaki önlem ve tedbirlerin yetersizliğinden dolayı kendilerini gergin ve stresli hissettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 8).
- Soru-21'e verilen cevaplara göre uzmanların %94,14'ü (n=209) çalışanların duyarsızlığından dolayı kendilerini stresli hissettiklerini ifade etmişlerdir (Şekil 9).
- Uzmanların %67,57'si (n=150) başka sektörde iş bulmaları durumunda iş güvenliği uzmanlığı yapmayacaklarını belirtmişlerdir (Şekil 10).



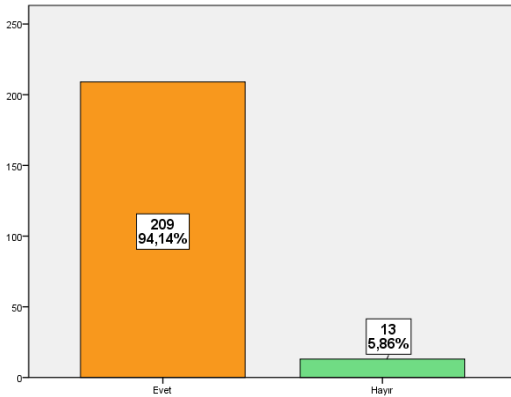
İşveren iş sağlığı ve güvenliği alanındaki maliyet düşürme politikaları uzmanlık yapmama engel oluyor.

Şekil 7. Soru 19'a verilen yanıtların dağılımı



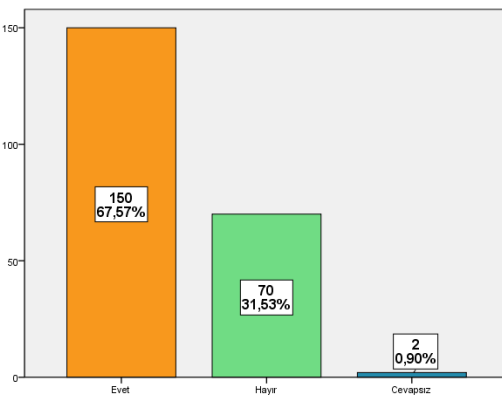
İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarındaki önlem ve tedbirlerin yetersizliğinden dolayı kendimi gergin ve stresli hissediyorum.

Şekil 8. Soru 20'ye verilen yanıtların dağılımı



İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında çalışanların duyarsızlığından dolayı kendimi stresli hissediyorum.

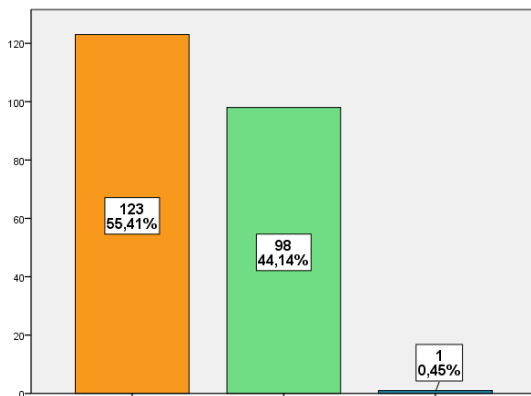
Şekil 9. Soru 21'e verilen yanıtların dağılımı



Başka bir sektörde iş bulursam iş güvenliği uzmanlığına devam etmeyeceğim.

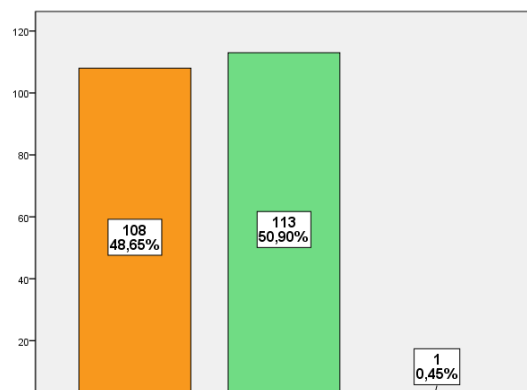
Şekil 10. Soru 22'ye verilen yanıtların dağılımı

- Uzmanların %55,41'i (n=123) doküman hazırlama, takip etme ve planlama süreçlerinden dolayı çok fazla yorulduklarını belirtmişlerdir (Şekil 11).
- Uzmanların %48,65'i (n=108) çok fazla firmadan sorumlu olduğu için stresli hissetmektedirler (Şekil 12).



Döküman hazırlama, takip etme ve planlama süreçleri beni çok fazla yoruyor.

Şekil 11. Soru 23'e verilen yanıtların dağılımı



Çok fazla firmadan sorumlu olduğum için stresli hissediyorum.

Şekil 12. Soru 24'e verilen yanıtların dağılımı

Anketteki 13 ile 24 arasındaki sorulara verilen cevaplar incelendiğinde; uzmanların çalışma yaşamlarında kendilerini stresli hissetmelerine neden olan en önemli sorunun, ankete katılan uzmanların %94,14 oranla “evet” cevabını verdiği, çalışanların İSG uygulamalarındaki duyarsızlıkları

olduğu görülmüştür. Çalışanların İSG konusundaki tedbirlere uymaktaki ihmalleri, İSG uygulamalarındaki önlem ve tedbirlerin yetersizliği, işverenin İSG yatırımlarını gereksiz maliyet olarak görmesi de anket sonucu tespit edilen önemli sorunlar arasında yer almaktadır.

Sonuçların İstatistiksel Analizi

Çalışma kapsamında anket yöntemiyle elde edilen sonuçlar, SPSS® 22.0 paket programı kullanılarak hipotez testleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada değişkenler nitel ve değişkenlere ait alt gruplar bağımsız olduğundan dolayı parametrik olmayan test yöntemlerinden “ki-kare testi” uygulanmıştır. İş güvenliği uzmanlarının sosyo-demografik özellikleri ile stres değerlendirme soruları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı tespit edilebilmek için uygulanan ki-kare sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5’te toplu olarak verilmiştir. %95 güven aralığında yapılan ki-kare test sonuçlarına göre $p < 0,05$ olması halinde test edilen iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki/fark olduğu söylenebilmektedir.

Tablo 4. Stres değerlendirme soruları*sosyo-demografik özellikler arasındaki test sonuçları-1

| Anket Soruları | Cinsiyet | Yaş Aralığı | Eğitim Durumu | Mezun Olunan Program | Uzmanlık Sınıfı |
|---|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 13.İşimi yaparken kendimi bağımsız ve güvende hissetmiyorum. | p:0,750 İlişki yok | p:0,677 İlişki yok | p:0,299 İlişki yok | p:0,852 İlişki yok | p:0,137 İlişki yok |
| 14.Mesai saatleri dışında bile sürekli işimle ilgili konuları düşünüyorum. | p:0,356 İlişki yok | p:0,619 İlişki yok | p:0,550 İlişki yok | p:0,201 İlişki yok | p:0,177 İlişki yok |
| 15.Farklı bir işte çalışmayı tercih ederdim. | p:0,383 İlişki yok | p:0,009 İlişki var | p:0,476 İlişki yok | p:0,731 İlişki yok | p:0,885 İlişki yok |
| 16.İşverenin iş sağlığı ve güvenliği yatırımlarını ek veya gereksiz maliyet olarak görmesi uzmanlık yapmamı engelliyor. | p:0,935 İlişki yok | p:0,469 İlişki yok | p:0,661 İlişki yok | p:0,410 İlişki yok | p:0,880 İlişki yok |
| 17.İşimi yaparken işveren baskısına maruz kalıyorum. | p:0,286 İlişki yok | p:0,598 İlişki yok | p:0,646 İlişki yok | p:0,198 İlişki yok | p:0,355 İlişki yok |
| 18.Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusundaki tedbirlere uymaktaki kayıtsızlığı/ ihmalleri beni zor durumda bırakıyor. | p:0,210 İlişki yok | p:0,731 İlişki yok | p:0,661 İlişki yok | p:0,609 İlişki yok | p:0,127 İlişki yok |
| 19.İşverenin iş sağlığı ve güvenliği alanında maliyet düşürme politikaları uzmanlık yapmama engel oluyor. | p:1,000 İlişki yok | p:0,204 İlişki yok | p:0,810 İlişki yok | p:0,195 İlişki yok | p:0,290 İlişki yok |
| 20.İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarındaki önlem ve tedbirlerin yetersizliğinden dolayı kendimi gergin ve stresli hissediyorum. | p:0,660 İlişki yok | p:0,785 İlişki yok | p:0,703 İlişki yok | p:0,745 İlişki yok | p:0,240 İlişki yok |
| 21.İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında çalışanların duyarsızlığından dolayı kendimi stresli hissediyorum. | p:0,875 İlişki yok | p:0,712 İlişki yok | p:0,488 İlişki yok | p:0,733 İlişki yok | p:0,640 İlişki yok |
| 22.Başka bir sektörde iş bulursam iş güvenliği uzmanlığına devam etmeyeceğim. | p:1,000 İlişki yok | p:0,712 İlişki yok | p:0,900 İlişki yok | p:0,156 İlişki yok | p:0,984 İlişki yok |
| 23.Doküman hazırlama, takip etme ve planlama süreçleri beni çok fazla yoruyor. | p:0,328 İlişki yok | p:0,497 İlişki yok | p:0,980 İlişki yok | p:0,127 İlişki yok | p:0,735 İlişki yok |
| 24.Çok fazla firmadan sorumlu olduğum için stresli hissediyorum. | p:0,873 İlişki yok | p:0,728 İlişki yok | p:0,690 İlişki yok | p:0,836 İlişki yok | p:0,511 İlişki yok |

* Ki-kare testi sonucu elde edilen p (sig.) değerinin 0,05’ten küçük olması durumunda “ilişki var”, 0,05’ten büyük olması durumunda ise “ilişki yok” şeklinde değerlendirme yapılmıştır.

Tablo-4'ten görüldüğü gibi örneğin; ankete katılanların yaş aralığındaki değişim ile “farklı bir işte çalışmayı tercih etme” durumları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ve dolayısıyla uzmanların yaş grubunun söz konusu değişken üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak yaş aralığı ile ankette sorulan diğer soruların tümü arasında $p > 0,05$ olduğu için anlamlı bir ilişki olmadığı da görülmektedir.

Tablo 5. Stres değerlendirme soruları*sosyo-demografik özellikler arasındaki test sonuçları-2

| Anket Soruları | Uzmanlık Yapma Şekli | Uzman olarak çalışma süresi | Alınan Ücret | Günlük çalışma süresi | Sorumlu Olunan Firma Sayısı |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 13.İşimi yaparken kendimi bağımsız ve güvende hissetmiyorum. | p:0,314 İlişki yok | p:0,208 İlişki yok | p:0,923 İlişki yok | p:0,621 İlişki yok | p:0,493 İlişki yok |
| 14.Mesai saatleri dışında bile sürekli işimle ilgili konuları düşünüyorum. | p:0,887 İlişki yok | p:0,678 İlişki yok | p:0,279 İlişki yok | p:0,381 İlişki yok | p:0,435 İlişki yok |
| 15.Farklı bir işte çalışmayı tercih ederdim. | p:0,264 İlişki yok | p:0,564 İlişki yok | p:0,137 İlişki yok | p:0,207 İlişki yok | p:0,683 İlişki yok |
| 16.İşverenin iş sağlığı ve güvenliği yatırımlarını ek veya gereksiz maliyet olarak görmesi uzmanlık yapmamı engelliyor. | p:0,000 İlişki var | p:0,201 İlişki yok | p:0,000 İlişki var | p:0,491 İlişki yok | p:0,710 İlişki var |
| 17.İşimi yaparken işveren baskısına maruz kalıyorum. | p:0,000 İlişki var | p:0,500 İlişki yok | p:0,005 İlişki var | p:0,262 İlişki yok | p:0,444 İlişki yok |
| 18.Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusundaki tedbirlere uymadaki kayıtsızlığı/ ihmalleri beni zor durumda bırakıyor. | p:0,450 İlişki yok | p:0,369 İlişki yok | p:0,006 İlişki var | p:0,034 İlişki var | p:0,368 İlişki yok |
| 19.İşverenin iş sağlığı ve güvenliği alanında maliyet düşürme politikaları uzmanlık yapmama engel oluyor. | p:0,000 İlişki var | p:0,197 İlişki yok | p:0,000 İlişki var | p:0,468 İlişki yok | p:0,017 İlişki var |
| 20.İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarındaki önlem ve tedbirlerin yetersizliğinden dolayı kendimi gergin ve stresli hissediyorum. | p:0,007 İlişki yok | p:0,240 İlişki yok | p:0,001 İlişki var | p:0,402 İlişki yok | p:0,108 İlişki yok |
| 21.İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında çalışanların duyarsızlığından dolayı kendimi stresli hissediyorum. | p:0,156 İlişki yok | p:0,637 İlişki yok | p:0,052 İlişki yok | p:0,620 İlişki yok | p:0,719 İlişki yok |
| 22.Başka bir sektörde iş bulursam iş güvenliği uzmanlığına devam etmeyeceğim. | p:0,690 İlişki yok | p:0,956 İlişki yok | p:0,224 İlişki yok | p:0,975 İlişki yok | p:0,958 İlişki yok |
| 23.Doküman hazırlama, takip etme ve planlama süreçleri beni çok fazla yoruyor. | p:0,018 İlişki var | p:0,918 İlişki yok | p:0,948 İlişki yok | p:0,210 İlişki yok | p:0,999 İlişki yok |
| 24.Çok fazla firmadan sorumlu olduğum için stresli hissediyorum. | p:0,000 İlişki var | p:0,474 İlişki yok | p:0,075 İlişki yok | p:0,561 İlişki yok | p:0,000 İlişki var |

* Ki-kare testi sonucu elde edilen p (sig.) değerinin 0,05'ten küçük olması durumunda “ilişki var”, 0,05'ten büyük olması durumunda ise “ilişki yok” şeklinde değerlendirme yapılmıştır.

4. Sonuç

İş güvenliği uzmanlığı, çalışanlar için sağlıklı ve güvenli iş ortamı yaratmakla yükümlü, sorumluluğu ve stres seviyesi fazla meslek kategorisindedir. Bu sebepten dolayı yapılan çalışmada iş güvenliği uzmanlarında stres varlığı ele alınmış ve seçilmiş demografik özellikler ile uzmanların stres durumu arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Araştırmanın bulgularına dayalı olarak elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- İşveren müdahalesinin fazla olması, mevzuatın uygulanmasında yaşanan zorluklar ve stres seviyesinin yüksek olması uzmanların değerlendirmesiyle, mesleğin en olumsuz tarafları olmakla beraber şikâyetçi oldukları ve kendilerini stresli hissetmelerine neden olan en önemli sorunlar; çalışanların İSG konusundaki duyarsızlığı, tedbirlere uymaktaki ihmalleri, İSG uygulamalarında önlem ve tedbirlerin yetersizliği, işverenin İSG yatırımlarını gereksiz maliyet olarak görmesi olmuştur. Benzer şekilde Namal ve ark. (2016) yaptıkları çalışmalarında, uzmanların ücretlerini denetledikleri kuruluştan almaları nedeniyle iş güvenliği uygulamaları açısından baskı altında çalışmak zorunda kaldıklarından ve bağımsız olabilmeleri için ücret ve istihdam ilişkisinin ortadan kalkması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Arslan ve Ulubeyli (2016) yaptıkları çalışmalarında, işveren müdahalesinin uzmanlar için önemli bir sorun olduğundan ve ekonomik anlamda işverenden bağımsız olmaları gerektiğini savunarak işveren müdahalesine karşı önlem alınması gerektiğinden bahsetmişlerdir.
- Ankete katılanlara farklı bir işte çalışmayı tercih edip etmeyeceklerinin sorulduğu Soru-15'e verilen cevaplar ile demografik özelliklerden sadece yaş aralığı değişkeni arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Diğer demografik özelliklerin anlamlı bir farklılık göstermediği görülmüştür. Yaş gruplarına bakıldığında bu soruya "evet" cevabı verenlerin en fazla 31-40 yaş aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu durumda mesleki olarak yıpranmanın en fazla bu yaş aralığındaki uzmanlarda görüldüğü söylenebilmektedir.
- İşverenlerin İSG bakış açısının, farkındalığının ve bu alanda yapılması gereken yatırımların gerekliliği konusundaki fikirlerinin iş güvenliği uzmanlarının performansına etkisinin irdelendiği Soru 16, 17 ve 19'a verilen cevapların, uzmanların uzmanlık yapma şekli ve aldıkları ücret değişkenlerinden istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etkilendiği görülmüştür. Bu sorulara en yüksek oranda "evet" cevabı veren grupların OSGB'de çalışan ve düşük ücret alan uzmanlar olduğu görülmektedir. Bu durumda OSGB'ye bağlı olarak çalışanların görevlerini yaparken bireysel veya kamuda İSG uzmanlığı yapanlara göre işverenlerin İSG bakış açısından ve farkındalığından daha fazla etkilendiği söylenebilmektedir.
- "Uzmanlık yapma şekli" değişkeninin, "doküman hazırlama, takip etme ve planlama süreçlerinin yorucu olması durumu (Soru 23)" üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumdan kaynaklı sorun en fazla kamuda çalışan iş güvenliği uzmanlarında gözlemlenmiştir.
- Çok fazla firmadan sorumlu olduğu için stresli hissetme durumunun irdelendiği Soru-24'e verilen cevaplar ile "sorumlu olunan firma sayısı" ve "uzmanlık yapma şekli" değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu durum OSGB'de çalışan uzmanların sorumluluğunda çok fazla firma bulunduğu için daha fazla strese girdikleri şeklinde yorumlanabilmektedir.

- Yapılan istatistiksel analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; cinsiyet, eğitim durumu, mezun olunan program, uzmanlık sınıfı, deneyim yılı değişkenleri ile ankette uzmanların stres durumlarının ölçümüne yönelik sorulara verilen cevaplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Örneğin; uzmanların kendini stresli hissetmesine neden olan faktörlerin (iş yükü, doküman hazırlama süreci, işveren baskısı ve politikaları vb.) uzmanın kadın veya erkek olmasına, ön lisans mezunu veya yüksek lisans mezunu olmasına vb. göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Başka bir ifadeyle bu demografik özelliklerin değişmesinin sorulara verilen cevaplarda anlamlı bir farklılığa yol açmadığı söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra uzmanlık yapma şekli (bireysel, OSGB ve kamu) ve ücretin uzmanların stres seviyesi açısından daha etkili değişkenler olduğu belirlenmiştir. Çünkü bu değişkenlere ait verilerin değişmesi durumunda stres sorularının bir kısmına verilen cevaplar istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde değişim göstermiştir. Ancak ankete katılan uzmanların yaklaşık %88'inin B ve C sınıfı uzmanlık belgesine sahip olduğu ve A sınıfı uzmanların oranının diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. İş güvenliği uzmanlık sınıfına bağlı olarak uzmanların sorumlulukları, iş kategorileri, iş yükleri ve bunlara bağlı olarak stres düzeyleri değişebilmektedir. Bu sebeple A,B,C sınıfı uzman dağılımı Türkiye ortalamalarına uygun seçilerek çalışma tekrarlanabilir ve uzmanlık sınıfının stres ile ilişkilendirilmesi yapılabilir.

İş güvenliği uzmanlarının görevlerini stres ve baskı altında kalmadan yapabilmeleri, işverene olan bağımlılıklarının ortadan kaldırılması ve devletin uzmanlara karşı daha koruyucu bir tavır sergilemesiyle mümkün olacaktır. İSG alanında yapılan düzenlemelerde öncelikle düşünülmesi gereken insan sağlığı ve güvenliğidir. Bu sebeple işveren, maliyet düşürme politikalarından kaçınarak iş güvenliği uzmanı üzerinde baskı kurmamalıdır. Ayrıca, çalışanların ihmallerinden kaynaklı sorunlarla başa çıkabilmek için toplumun her kademesinde İSG algısının oluşturulabilmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranında katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

Aca Z., Gözel F. OSGB sistemiyle çalışan iş güvenliği uzmanlarının iş güvenliği uzmanlığına ilişkin görüşleri. Çalışma ve Toplum Dergisi 2020; 4(67): 2223-2248.

- Akboğa Ö., Baradan S., Gürcanlı GE., Dikmen Ü., Bayram İ. İş güvenliği uzmanlığı: Sistemin işleyişinin değerlendirilmesi üzerine bir araştırma çalışması. 5. İşçi Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu 2015; İzmir.
- Aksoy Ş., Mamatoğlu N. Challenges of occupational safety specialists scale: A scale development study. Cyprus Turkish Journal of Psychiatry & Psychology 2019; 1(2): 76-84.
- Aksoy Ş. The relationship between challenges of occupational safety specialist, psychological safety, professional self – efficacy belief and proactive work behavior. İstanbul Bilgi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Arslan V., Ulubeyli S. İş güvenliği uzmanlarının sorunlarına yönelik bir saha araştırması. Çalışma ve Toplum Dergisi 2016; 3(50): 1321–1340.
- Aytaç S., Engin T., İmanlı E. İş güvenliği uzmanlarının işe ilişkin duygusal iyi oluş hali, mutluluk ve yaşam tatmini ilişkisi. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi 2020; 15(60): 746-758.
- Cerev G. İş güvenliği uzmanlarının genel, içsel ve dışsal iş tatmin düzeylerinin incelenmesi üzerine bir araştırma. Yönetim Bilimleri Dergisi 2018; 16(32): 91-112.
- Duman F., Çavuşoğlu SB., Yurtseven CN., Yurtseven E. Assessment of job satisfaction and stress levels of occupational safety specialists. International Refereed Academic Journal of Sports Health and Medical Sciences 2019; 0(31):12-22.
- <https://eczacilik.anadolu.edu.tr/QL> (Erişim 8.02.2022).
- Kale Akboğa Ö., Dikmen SÜ., Gürcanlı GE., Bayram G., Baradan S. İş güvenliği uzmanlığı sisteminin gelişimi üzerine bir alan çalışması. BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2018; 20(2): 177-190.
- Karakaya A., Sancı V. İş güvenliği uzmanlarının iş tatminleri üzerine bir araştırma: Karadeniz bölgesi örneği. Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2017; 7(1): 1-13.
- Karakaya T. İş güvenliği uzmanlarının çalışma yaşamı özellikleri, iş stresi ve iş güvencesizliğinin değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi 2018.
- Kayan Y., Doğruyol M., Gültekin MŞ., Gültekin MC., Ayhan E., Kuncan O. İş güvenliği uzmanlarının yaşadıkları sorunlar üzerine bir araştırma. Bilim ve Gençlik Dergisi 2017; 5(2): 45-50.
- Koroğlu AŞ. İş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan paket programların ve bu programların iş güvenliği uzmanlarının stres seviyesine etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2022.
- Krišto I., Batak M. Istraživanje oodručja interesa i problema u radu stručnjaka zaštite na radu. Sigurnost : Časopis Za Sigurnost U Radnoj I Životnoj Okolini 2012; 54(3): 303-308.
- Namal B., Kanber H., Kavas MV. İş güvenliği uzmanlarının ücretlerini denetledikleri kurumlardan almaları nedeniyle karşılaştıkları etik sorunlar. Türkiye Biyoetik Dergisi 2016; 3(3): 146-164.
- Nikolić V., Taradi J., Petković İA. Workplace stress of occupational safety specialists in croatia and serbia. National Library of Medicine 2021; 70(20): 419-431.

- Okuyucu ÖF. İş güvenliği uzmanlarında stres ve anksiyetenin incelenmesi. Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Orhan S. İş güvenliği uzmanlarının iş güvencesi sorunu. Emek ve Toplum Dergisi 2014; 3(6): 70-89.
- Taşkıran G. Güvencesiz iş güvenliği uzmanları, piyasalaşan iş güvenliği: Bir alan araştırması. Çalışma ve Toplum Dergisi 2016; 0(51): 1747-1768.
- Yılmaz F., Alp S., Çınar U., Öz B. İş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin ücret ve çalışma koşullarının analizi. OHS Academy Dergisi 2019; 2(1): 41-49.

Türkiye’de Bulunan Bazı Ekonomik Kabuklu Su Canlıları Üzerinde Çalışmalar

Hatice TEKOGÜL^{1*}, Atilla ALPBAZ²

^{1,2}Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu yazar: hatice.tekogul@ege.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.04.2022

Kabul tarihi: 29.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Türkiye

Mollusca

Çift kabuklular

Biyometrik

Et oranı

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye denizlerinde bulunan ve insan gıdası olarak tüketilen ekonomik önemi olan bazı kabuklu su canlılarının biyometrik özellikleri ve et verimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sırasında öncelikle Türkiye sularında var olan ve besin olarak tüketilen kabuklu su canlıları saptanarak, ticari önemi olan 16 tür ele alınmıştır. Bu türlerin total ağırlık, et ağırlığı, kabuk ağırlığı, vücut eni, boy, kalınlık ve et oranı ilişkisi incelenmiştir. Araştırma ile ülkemiz sularında doğal olarak bulunan bu türlerin et oranları hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sonucunda et verimi açısından en pahalı olan canlının *Venus verrucosa* olduğu, ardından *Ruditapes decussatus* ve *Ostrea edulis*, et (verim) fiyatı açısından ise en ucuz olan canlının *Mytilus galloprovincialis* olduğu belirlendi.

Studies on Some Economical Shellfish in Turkey

Research Article

Article History:

Received: 14.04.2022

Accepted: 29.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Türkiye

Molluscs

Bivalvia

Biometric

Meat yield

ABSTRACT

In this study, it is aimed to examine the biometric properties and meat yields of some crustacean species with economic importance found in the seas of Turkey and consumed as human food. During the study, primarily crustacean species that exist in Turkish waters and are consumed as food were determined, and 16 species with commercial importance were discussed. The relationship between total weight, meat weight, shell weight, body width, height, thickness and meat ratio of these species was investigated. With the research, calculations were made by considering the meat ratios of these species naturally found in our country's waters and the sales prices of shellfish. As a result of this evaluation, it was determined that the most expensive creature in terms of meat yield was *Venus verrucosa*, followed by *Ruditapes decussatus* and *Ostrea edulis* and the cheapest creature in terms of meat (yield) price was *Mytilus galloprovincialis*.

To Cite: Tekoğul H., Alpaz A. Türkiye’de Bulunan Bazı Ekonomik Kabuklu Su Canlıları Üzerinde Çalışmalar. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 552-574.

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanların yaşam süreleri artmış ve beslenme bilgileri de yükselmiştir. Buna bağlı olarak da kaliteli besine talep de artmıştır. Bu kapsamda su ürünlerinde avcılık ve yetiştiricilik metotlarının teknolojik olarak gelişmesi sağlanmış ve bu sayede su ürünlerinin üretiminde önemli artışlar sağlanmıştır.

Günümüzde dünya sularından avlanabilecek balık miktarının sınırına yaklaşılmış kabul edilmektedir. Bunun yanında yetiştiricilik açısından sağlanan gelişmeler ümit vericidir. Su canlıları arasında önemli bir yer tutan kabuklu su canlıları Türkiye denizlerinde de vardır. Denizlerimizde bulunan bu kabuklu su canlıları dünyada üretimi yapılarak, insan gıdası olarak tüketilmektedir. Kabuklu su canlıları kültürü bazı türler üzerinde çok yaygınlaşmış ve gelişmiş olmakla beraber, doğadan da toplanarak tüketilen pek çok tür bulunmaktadır. Türkiye denizlerinde insan gıdası olarak kullanılabilen yaklaşık olarak 20 tür kabuklu su canlısı bulunmaktadır. Bu türlerden bazıları bilinmekle beraber kara midye dışında birçoğunun insan gıdası olarak kullanıldığı konusunda Türk halkının genel bir bilgisinin olduğunu söylemek oldukça zordur. Özellikle çok fazla tüketilen kara midye ve istiridye üzerinde araştırma vardır (Shpigel ve ark., 1991; Stirling ve Okumuş, 1994; Karakoç, 2020).

Türkiye sularında var olan ekonomik olarak değerlendirilebilecek yumuşakçaları üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar bivalvia (Lamellibranchiata=Pelecypoda) olarak tanımlanan vücutları yanlamasına basık çift kabuklular, kafadan bacaklılar (Cephalopoda) ve diğeri ise (gastropoda) salyangozlardır. Bu çalışmada sadece çift kabuklulara değinilecektir.

Mollusca grubuna giren ve yumuşakça olarak ta tanımlanan bu grup Arthropoda filumundan sonra tür sayısı en fazla olan gruptur. Dünyada yaşayan yaklaşık 125 bin tür olduğunu ve Arthropoda filumundan sonra en fazla tür sayısı çift kabuklu canlılarda olduğunu bildirmişdir (Von Salvini-Plawen, 1973).

1970'li yıllara kadar Türkiye'de sadece kara midyenin gıda olarak bir değer taşıdığı söylenebilir. Bu yıllardan sonra ise, Avrupa ülkeleri ile artan ticari ilişkiler sonucunda Türkiye sularında bulunan ve Avrupa halkı tarafından insan gıdası olarak kullanılan bazı canlılar toplanarak ihraç edilmeye başlamıştır. Türkiye'den ihraç edilen kabuklu su canlılarında en yaygın olanlar; Kara midye (*Mytilus galloprovincialis*), akivades (*Ruditapes decussatus*), istiridye (*Ostrea edulis*), cik cik (*Venus gallina*), deniz salyangozu (*Rapana venosa*), kıllı midye (*Modiolus barbatus*), kidonya (*Venus verrucosa*) ve taş midyesi (*Arca noae*) dir. Ve bunları diğer kabuklu su canlıları takip etmektedir.



Şekil 1. Kara Midye (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) (Orijinal)

Mytilus galloprovincialis Lamarch, 1819, Türkiye'de tanınan ve insan gıdası olarak kullanılan kabuklu su canlısıdır (Şekil 1). Daha çok midye dolma, haşlama, ızgara, füme ve kızartma olarak tüketilmektedir. Bu canlı Ege Denizi'nin kuzeyindeki sahillerimizde bulunmaktadır. Türkiye'deki *M. galloprovincialis* ile ilgili ilk bilgi Devedjiyan (1915)'de yaptıkları çalışmasında midyenin İstanbul

halkı tarafından yenilmesinin yanında balıkthane kayıtlarından midyenin balık yemi olarak kullanıldığını belirtmiştir. *M. galloprovincialis* üzerinde Türkiye'deki ilk çalışma Uysal (1970) midye'nin Türkiye'deki dağılımı ve bölgelere göre vücut özellikleri üzerine çalışmadır. Midye yetiştiriciliği dünyada yaygın olarak uygulanan çalışmalardandır. Küçük boyutta çıkarılan midyelerin koruma altına alınan bölgelerdeki deniz alanına yerleştirilmesi ile yetiştiriciliği yapılmaktadır (Anonim, 2022). Türkiye'de yetiştiriciliği konusunda ilk dikkat çeken çalışma Sarıkaya (1978)' e aittir. Fabi ve ark., (1989)'da Adriyatik denizinde *M. galloprovincialis*' nin gelişimi hakkında çalışmalar yapmışlardır. Türkiye'de midyelerle ilgili iz metal araştırmalarında ilk olarak Sunlu ve ark., (1998) tarafından yapılmıştır.



Şekil 2. Kılılı midye-At midyesi (*Modiolus barbatus* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Üzerindeki uzun kıl benzeri sakalsı yapılardan dolayı kılılı midye (*Modiolus barbatus*) (Şekil 2) olarak tanımlanır (Zaouali, 1979). Türkiye sularında var olan ve şekil olarak kara midyeye çok benzeyen ve bazı balıkçılara göre kırmızı midye, bazı yörelere göre de at midyesi olarak da tanımlanan *Modiolus barbatus* zaman zaman Ayvalık körfezinden toplanarak ihraç edilmiştir. Özellikle etinin pembemsi olması nedeniyle yurt dışında çok sevilir ve fiyatı da kara midyeye oranla daha yüksektir. Bu türün et kalitesinin çok iyi ve aranan bir canlı olduğunu kaydederek çiğ veya pişirilmiş olarak tüketildiği bilinmektedir. Cezayir ve İspanya'dan İngiltere kıyılarına kadar yayılım göstermektedir. Bu tür ile ilgili ilk çalışmalara örnek olarak Zaouali (1979)'un, Bizerta gölünde (deniz suyu özelliklerine sahip) çift kabuklu canlılar üzerine yaptığı çalışmadır. Bunun yanında, *M. barbatus*'un etinde var olan vitaminleri 1977 yılında Badawi ve Hasan, 2020 yılında ise Karakoç incelemişlerdir.



Şekil 3. İstiridye (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

İngiltere adalarından, Norveç Deniz'ine, Atlantik kıyılarından Akdeniz ve Karadeniz'e kadar dağılım göstermektedir. *Ostrea edulis* konusunda birçok yayın bulunmaktadır. *O. edulis* yetiştiriciliği konusunda ilk çalışma Loosanoff and Davis tarafından 1963 yılında yapılmıştır. Türkiye'de bulunan *O. edulis* türü istiridyeler bütün Avrupa ülkelerinin kıyılarında var olan bir türdür. Türkiye'de istiridyeler konusunda yapılan ilk çalışma Urla civarından toplanan istiridyelerin bazı biyometrik ölçülerinin alınması ile başlamıştır (Alpbaz ve ark., 1990). Çeşitli araştırmacılar özellikle İspanya'daki Galicia bölgesinde istiridye ve midye yetiştiriciliği açısından dünyanın en önemli yerlerinden biri olduğunu, 2019 yılında toplam üretimin 125 milyon € değerinde olduğunu kaydetmişlerdir (Korringa, 1976; Xunta de Galicia, 2018; Vera ve ark., 2019; Apromar, 2020). Bu canlıların bazı çok lüks restoranlar hariç iç tüketimleri yok gibidir. (Şekil 3) (Alpbaz, 1993; Tekoğul, 1999). Türkiye'de çok fazla tüketimi olmamakla birlikte doğal ortamlarından toplanarak ihraç edilmektedir. Türkiye'de en önemli *Ostrea edulis* kaynakları Ege Denizi ve Marmara Denizindedir. Fakat İzmir Körfezi ile Çanakkale ve çevresinde toplanan *O. edulis* ihraç talebi daha fazladır. Düzgün kabuk yapısı nedeniyle sofralık olarak değerli kabul edilen İzmir orjinli *O. edulis* ihracatı 10-15 yıl öncesine kadar İzmir Körfezindeki kirlenme nedeniyle azalmış bulunmaktadır. Çanakkale bölgesinden toplanarak ihracat yapılmakta ise de bu bölgeden toplanan istiridyeler kabuk yapılarının düzgün olmaması nedeniyle ihracatta daha az değer bulmaktadır (Alpbaz, 1993).



Şekil 4. Taş midyesi-Tırnak-Nuhun gemisi (*Arca noae* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Taş midyesi olarak tanınan *Arca noae* (Şekil 4), kara midye gibi sert zemine iplikçikleri ile tutunarak yaşayan bir canlıdır (Peharda, 2002; Peharda, 2003). Genelde 5-6 cm boyutlarında maksimum 10 cm'dir (Tekoğul, 1999; Šiletić, 2006). Türk halkının pek tanımadığı ve gıda olarak tüketmediği bir türdür. Ülkemiz kıyılarında dağılım göstermektedir. Avrupa'da insan gıdası olarak sevilen ve aranan bir canlıdır (Tekoğul, 1999; Öztürk ve ark., 2014). Üretimi pek fazla olmayan, kabuklu ihracatı yapan işletmelerde genelde deniz salyongozu ve istiridyelerin içerisinden çıkan *A. noae*' ler toplanarak pazarlanır. Fakat ihraç talebi durumunda bu canlıyı bilen bazı toplayıcılar ile denizden toplanabilmektedir (Anonim, 2022).



Şekil 5. Alaca tarak (*Chlamys varia* = *Mimachlamys varia* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Türkiye’de çeşitli *Chlamys* türleri bulunmaktadır. Bunlardan insan gıdası olarak kullanılanlardan biri de Alaca Tarak (*Chlamys varia* = *Mimachlamys varia*)’dır (Tsotsios, 2016). Nadiren 60 mm’yi aşan bir kabuk uzunluğuna erişebilen küçük bir taraktır. Kabuğunun her iki valfi dışbükey olarak eşit değildir. *M. varia*’nın üreme biyolojisi, *P. maximus* ve *A. opercularis*’ten önemli ölçüde farklıdır çünkü *M. varia*, ardışık bir protrandrik hermafrodittir (Brand, 2006). Türkiye sularında Ege ve Akdeniz’de var olduğu bilinmekle beraber miktarı az olduğundan ekonomik önemi bilinmemektedir. Eti lezzetli olan bu tür yurt dışında gıda olarak kullanılmaktadır (Şekil 5). Bu türün yetiştiriciliği ile ilgili olarak ilk çalışma British Columbia (Kanada)’da istiridyecilikten yapılan kolektörler ile doğadan yavru toplayarak *M. varia* yetiştiriciliğidir (Zahradnik, 1985). Laboratuvar koşullarında larva üretimi üzerinde çalışarak, *M. varia* larvaların beslenmesi ve plankton tercihleri gibi çeşitli çalışmalar mevcuttur (Le-Pennec ve Diss Mengus, 1987; Louro 2003).



Şekil 6. Pina (*Pinna nobilis*, Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Pina (*Pinna nobilis*, Linnaeus, 1758), Türkiye sularında bulunan en büyük yapıdaki kabuklu su canlıları olmakla beraber Türk halkı tarafından eti gıda olarak pek değerlendirilmez (Şekil 6). Devedjiyan (1915) pina etinin pek lezzetli olmadığına değinmiştir. Kaliforniya kıyılarında yapılabilecek su ürünleri yetiştiriciliği çalışmaları kapsamında ele alınabilecek aday türler arasında bu türün var olduğunu ilk olarak Alba, (1980) kaydetmiştir. Bunun yanında Monaco sularında bulunan *P. nobilis*’ların gelişimi üzerine ilk çalışma Hignette (1983) tarafından yapılmıştır. Bu tür 1992 yılından itibaren koruma altında olup kırmızı listededir. Ayrıca tür ile ilgili son yıllarda birçok çalışma yapılmakla birlikte nesli tükenen canlılar kapsamına da 2017 yılında alındı.



Şekil 7. Akivades (*Ruditapes decussatus* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Türkiye sularından toplanarak ihraç edilen en önemli kabuklu su canlılarından bir tanesi de Akivades (*Ruditapes decussatus*) dir (Şekil 7). Bu canlı fiyat olarak en değerli sayılabilecek su ürünlerinden bir tanesidir ve Avrupa'nın birçok ülkesinde en pahalı su ürünü türü olarak pazarlanmaktadır. Akivadeslerin dünya'da geniş bir yayılış alanları vardır. Portekiz'de *R. decussatus* yetiştiriciliği bakımından önemli yerlerden biridir. *R. decussatus* yetiştiriciliğinin dünyadaki durumu hakkında açıklamalarda bulunan ilk çalışma Korringa (1976)'da hazırladığı kitaptır. Tarkan 1989 da biyokolojisi ile ilgili tez çalışması yapmıştır. Türkiye'de akivadeslerin yetiştiriciliği üzerine yapılan ilk çalışmada Fırat (1990) metamorfoz aşamasına kadar bu türün üretimini bildirmiştir. Alpbaz ve ark 1981 'de ilk biyometrik çalışmayı yapmışlardır. Oray ve Tarkan (1991)'de Türkiye sularında *Ruditapes decussatus* L. 1758, yetiştiriciliği ve avcılığı isimli çalışmalarda akivadesin sadece ihracat amaçlı toplanmakta ve yetiştiricilik endüstrisinin sadece deneysel boyutta olduğunu belirtmişlerdir. Tekoğul ve Alpbaz (1998) akivadesi mevsim dışı yumurtlatma çalışmalarında bulunmuşlar ve kış aylarında almış oldukları akivades anaçlarına ortam koşullarını iyileştirerek kondüsyon kazandırmışlardır.



Şekil 8. Kidonya (*Venus verrucosa* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Vücut yapısı, büyüklüğü ve lezzeti bakımından akivadese benzeyen bir canlı da Kidonya (*Venus verrucosa*) dır (Şekil 8). Ortalama 4-4,5 cm. boyutlarda olup 7 cm e kadar büyüebilmektedir. Kabuk üzeri kemervari tırtıklıdır (Alpbaz, 1993). Ülkemizde toplanan miktarı az olduğundan veri kayıtlarında diğer türlerle birlikte kayıtlanmaktadır. Hatta bu tür Türkiye'de bazı lüks lokantalarda akivades eti olarak pazarlanmaktadır. İhracatımız içerisindeki yeri oldukça kısıtlıdır. Türün üretim miktarı çok az olmakla beraber Akivades kadar değerli olduğu kabul edilmektedir. Yurt dışında ise sevilen ve aranan bir canlıdır (Peharda, 2013).



Şekil 9. Vongole-Cik cik (*Venus gallina* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Türkiye’de en çok üretilen kabuklu su canlısı *Chamelea gallina*=*Venus gallina*’dır (Şekil 9). 2020 yılı üretim 21.823.6 ton ile 39.370.7 ton olan toplam üretimin % 55,4’ünü oluşturur (TUİK, 2020). Bu canlıya cik cik vongole veya kum midyesi de denilmektedir. *C. gallina* gerek canlı gerekse işlenmiş olarak ihraç edilmiştir. İhracat olanaklarına ve toplama durumuna göre yıllardaki tür ve miktarlarda değişiklik görülmektedir. *C. gallina*’nın Türkiye’de bol bulunduğu bölgeler Ege’de Saroz Körfezi’nde, Marmara Denizi ve Karadeniz’de İstanbul Boğazı çıkışı ve doğusunda kalan yerlerdir (Deval ve Oray 1992).



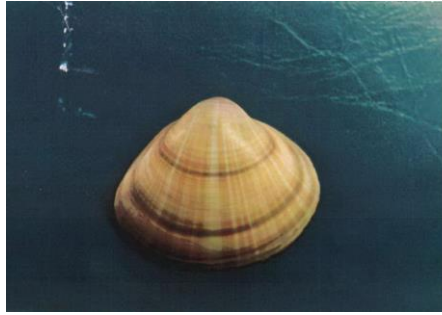
Şekil 10. Cilalı kum midyesi (*Callista chione* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Eti oldukça dolgun, kabuk yüzeyi pürüzsüz, cilalı gibi parlak ve oldukça sağlamdır. Türkiye’de Ege Denizi ve Akdeniz kıyılarında bulunan, Ege Denizi’nde özellikle Mordoğan ve Karaburun kıyılarında yaygın olarak bulunmaktadır (Tekoğul ve Alpbaz, 1997). *Callista chione* İspanya, İtalya ve Fas pazarları için çok önemli bir türdür. İspanya’da ve İtalya’da da çok yaygın olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır.



Şekil 11. Artemis (*Dosinia exolata* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Dosinia exolata, Türkiye sularında var olan, fakat tüketilmeyen bir canlıdır (Şekil 11). Bu türün Türkiye kıyılarında akivadesle birlikte toplandıkları bilinmekte, ticari önemi olmadığından ve dış talep bulunmadığından ekonomik olarak değerlendirilmemektedir. İngiltere kıyılarının *D exolata*'nın yaşam koşullarına uygun zeminlere sahip olması nedeniyle buralarda bol miktarda buldukları ilk yapılan çalışma olan Tebble (1976)'de ifade edilmiştir. Avrupa'da az miktarda toplandığından sadece toplandığı bölgelerde yerel olarak tüketilmektedir.



Şekil 12. Yalancı akivades (*Mactra corallina* Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Mactra corallina L., 1758, Türkiye'de yalancı akivades olarak tanımlanan bir canlıdır (Şekil 12). Norveç'ten güneyde Senegal'a kadar Atlas Okyanusu kıyılarında yaygın olarak bulunduğu kayıtlara geçmiştir. İlk yapılan çalışmaya göre, İngiltere sularında çok sığ kıyılardan derinlere kadar buldukları bildirilmiştir (Tebble, 1976). Türkiye sahillerinde az kumlu, çamurlu zeminlerde bulunan bir canlıdır. Eti pek sevilmemekle beraber İtalya ve İspanya gibi Akdeniz ülkelerinde insan gıdası olarak kullanıldığı tespit edilmiştir (Abdallah, 2013; Chetoui, 2022). Avcılık miktarı az olduğu için sadece buldukları yerlerde tüketilmektedir.



Şekil 13. Kardiyum (*Cerastoderma glaucum*, Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Cerastoderma glaucum, Türkiye kıyılarında bulunan bir canlı olmakla beraber pek çok kabuklu gibi iç tüketimi yok gibidir (Şekil 13). Akdeniz’de çok yaygın olup Karadeniz’de de bol miktarda bulunduğu kaydedilmektedir. Avrupa’da Atlantik kıyılarında da yaygın olan bir canlıdır (Xunta de Galicia, 2018). Sığ sularda da yaşayabildiğinden dalyan alanlarında da bol olarak var olabilen bir türdür. Ticari değeri pek fazla değilse de eti yenilen bir canlıdır. Eti çiğ veya pişirilmiş olarak tüketilir. Bazı ülkelerde konserve olarak da pazarlanmaktadır. Gıda olarak ticari değeri yüksektir. Ülkemizdeki ticari önemi ise bilinmemektedir (Alpbaz, 1993).



Şekil 14. Kardium (*Cardium tuberculatum*, Linnaeus, 1758) (Orijinal)

İri yapılı bir çift kabuklu olan *Acanthocardia tuberculata*= *Cardium tuberculatum* (L. 1758) Kardiyum olarak da bilinir. Ülkemizde daha çok Ege Denizi’nde ve Akdeniz’de bulunan bir canlıdır (Şekil 14). Çakıllı kumlu ve çamurlu zeminlerde çok sığ sulardan 5-6 m derinliğe kadar olan bölgelerde yaşamayı tercih ettiği kaydedilmiştir. İngilterenin güney kıyılarından İspanya kıyılarına kadar yayılmış, Akdeniz’e yayılmış ve Türkiye’den Cezayir kıyılarına kadar tüm Akdeniz’de yayılım göstermiş bir canlıdır (Tebble, 1976). Berenguer ve ark., (1993) taze veya konserve yapılarak insan gıdası olarak kullanıldığı kaydedilmiştir. *A. tuberculata* türünün konserve sanayiinde kullanıldığını kaydederek, PSP açısından bir sorunun olmaması gerektiğini vurgulamışlardır (Berenguer ve ark., 1993). Gäde (1980)’ de *A. tuberculata*’nın ayak kaslarının enerji metabolizmasını incelemiş olduğu çalışmada bu türden jumping coockle diye bahsetmekte ve güçlü ayak kasları olan bu türün sıçrama hareketi yapabildiğinden bahsetmektedir.



Şekil 15. Pamucak midyesi (*Donax trunculus*, Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Aydın'a bağlı Selçuk ilçesinin Pamucak kıyılarında bol olarak bulunduğu için *Donax trunculus*, L.,1758, bu ad verilmiştir. Bu tür Türkiye sularında var olan ve insan gıdası olarak değerlendirilmeyen çift kabuklu su canlılarından biridir (Şekil 15). Batı Atlantik kıyılarından başlayarak tüm Akdeniz, Karadeniz ve Fransa sahillerine kadar yayılış gösterir (Geldiay ve Uysal, 1972; Uysal, 1988). Akdeniz ülkelerinde aranılan bir gıda olduğunu kaydetmektedirler (Rueda ve ark., 2021 ve Palombi ve Santerelli 1961). Bu türde canlının etinde bulunan protein çeşitleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır (Ghazaly, 1988). Ortalama 1,5-2,5 cm maksimum 3 cm genişliğinde olan *Donax trunculus*'un eti küçük yapılı olmakla beraber lezzetlidir (Alpbaz, 1993; Tekoğul 1999). Gıda olarak tüketimi ile ilgili örnek verilecek olursa, özellikle İspanya'da kokina (Cocquina) olarak bilinen bu canlı ile yapılan pilav çok ünlüdür.



Şekil 16. Sülünes (*Solen vagina*, Linnaeus, 1758) (Orijinal)

Türkiye'de genellikle Ege bölgesinde olta balıkçılığında yem olarak kullanılan ve çok iyi bilinen sülünes Akdeniz ülkelerinde insan gıdası olarak da kullanılan bir canlıdır. İzmir Körfezi'nde iki tür sülünes bulunmaktadır. Bunlar *Solen vagina* L.,1758 (= *Solen marginatus* Montagu) (Şekil 16) ve *Pharus (Solen) Legumen* L.,1758 (Uysal, 1967) türleridir. İç pazarda olta ile balık avı meraklılarına tane ile satılarak toplayıcılar için iyi bir gelir kaynağı olmaktadır (Alpbaz, 1992). *S. vagina* Türkiye denizlerinde var olan ve insan gıdası olarak pek yararlanılmayan bir canlıdır (Devedjiyan, 1915). Bütün Akdeniz'de ve Karadeniz'de bulunur.

Bahsedilen çift kabuklu canlılar yanında henüz ekonomik olarak pek değerlendirilmeyen pek çok canlı yurt dışında insan gıdası olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye denizlerinde bulunan ve dünyada insan gıdası olarak en çok tüketilen kabuklu su canlılarının biyometrik özellikleri ve et verimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma sırasında öncelikle tüketilen kabuklu su canlıları incelenmiş ve bu konudaki literatür bilgilerinin ışığı altında Türkiye sularında var olanlar araştırılmış ve ticari önemi olan 16 tür ele alınmıştır. Kabuklu ihracatı yapılan Ocak ayında, her bir canlı için 5 istasyondan örnekleme yapılmıştır. Çalışma istasyonları ve istasyonlardan elde edilen midye türleri sırasıyla; (Çanakkale; *Ostrea edulis*, *Arca noae*, Balıkesir-Ayvalık Bölgesi; *Modiolus barbatus*, *Venus gallina*, *Venus verrucosa*, Mordoğan-Karaburun; *Callista chione*, *Acanthocardia tuberculata*, İzmir; *Mytilus galloprovincialis*, *Chlamys varia*, *Pinna nobilis*, *Ruditapes decussatus*, *Dosinia exoleta*, *Macra corallina*, *Cerastoderma glaucum*, *Solen marginatus*, Aydın; *Donax trunculus* (Şekil 17).



Şekil 17. Çalışma istasyonları

Temin edilen türler önce laboratuvara canlı olarak getirildi ve üzerlerindeki epifauna temizlendi. Aynı gün üç tekrarlı 30 birey üzerinde ele alınan ölçümler yapıldı. Ağırlık ölçümleri 0,01gr hassasiyetli elektronik terazi ile ölçüldü. Uzunluk, en ve kalınlık ölçümleri %0,01mm hassasiyetli dijital kumpas ile alındı ve sonuçlar mm. düzeyinde sunuldu. Dış ölçümler yapıldıktan sonra kabuk açıldı ve hayvanların iç organları çıkarılarak tartıldı. Böylece iç organ ağırlıkları saptandı. Kabuk ağırlıkları alındı. Buradan et verimleri elde edildi. Çalışmada bu değer et oranı olarak ifade edildi. Kabuk, et ve kabuktaki su miktarı ölçüldü. Et oranı total ağırlık ile toplam et miktarının oranı olarak hesaplandı.

$$\text{Et verimi} = \frac{\text{Et ağırlığı}}{\text{Total ağırlık}} \times 100$$

Bu türlerin total ağırlık, et ağırlığı, kabuk ağırlığı, vücut eni, boy, kalınlık ve et oranı incelendi, et verimleri karşılaştırmalı olarak ele alındı. Elde edilen bulgularla her bir canlı grubu tanımlayıcı istatistiklerle (ortalama, standart sapma, min, max) ve grafikler ile excel paket program kullanılarak (Microsoft office 365 paket programı ile yapıldı).

3. Bulgular ve Tartışma

Tüm ele alınan türlerin toplam ağırlık, et ağırlığı, kabuk ağırlığı, en, boy, kalınlık ve et oranlarının tanımlayıcı istatistikleri tablo 1’de verilmiştir.

Mytilus galloprovincialis’ in İzmir’den elde edilen toplam ağırlığı 14,02 ile 31,95gr arasında, kabuk ağırlığı 0,94 ile 11,34gr arasında, et ağırlığı 3,94 ile 10,62gr arasında, et oranı ise %21,03 ile %43,44 arasında olduğu görülmüştür. İzmir bölgesinde yapılmış bir çalışmada *M. galloprovincialis* in ortalama vücut uzunluğu $4,60 \pm 1,09$ cm olarak bildirilmiştir. Ayrıca, Hopa’dan İzmir’e kadar 28 bölgeden toplanmış örneklerde en küçük ortalama değer $3,6 \pm 0,53$ cm, en yüksek değer olarak Aliğa kaynaklı midyelerde $8,2 \pm 1,52$ cm olarak bildirmiştir (Uysal, 1970). *M. galloprovincialis*’ in ortalama uzunlukları $51,9 \pm 0,98$ mm (min 32,8; mak 82,8 mm), ortalama ağırlıkları ise $12,12 \pm 7,62$ g (min 3,49; mak 42,59 g) olarak tespit edilmiştir (Balcıoğlu ve Gönülal, 2017). Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere midyelerin ortalama vücut uzunluğu bölgelere göre farklılık gösterebilmekte ve bunun nedeninde canlının bulunduğu ortamdaki büyüme şartlarına göre beklenen bir durum olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışmada ise midyelerin ortalama uzunlukları $54,95 \pm 0,70$ mm (min 27,72; mak 65,50 mm), ortalama en $32,25 \pm 0,42$ mm (26,50-49,72 mm) ile ortalama ağırlıkları ise $20,30 \pm 0,52$ g olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar Balcıoğlu ve Gönülal’ın çalışmasıyla benzerlik göstermiştir.

Bu çalışmada *Modiolus barbatus*’un Ayvalık’tan elde edilen toplam ağırlığı 8,91 ile 16,66gr arasında, kabuk ağırlığı 3,2 ile 8,4gr arasında, et ağırlığı 1,7 ile 4,42gr arasında, et oranı ise %13,25 ile %34,18 arasında olduğu görülmüştür. *M. barbatus*’un Ayvalık’tan elde edilen boy (mm) $47,45 \pm 0,59$ mm, en (mm) $24,47 \pm 0,28$ mm, kalınlık (mm) $21,22 \pm 0,31$ mm ve toplam ağırlığı $12,38 \pm 0,33$ gr olduğu görülmüştür. Karakoç (2020)’de yaptıkları çalışmada aynı bölgeden elde edilen verilere göre boy (mm), en (mm), kalınlık (mm) ve ağırlık değişimi sırası ile $41,66 \pm 2,90$ ve $54,14 \pm 4,98$, $22,13 \pm 1,57$ ve $27,76 \pm 21,06$, $16,89 \pm 1,51$ ve $21,80 \pm 2,28$, $6,96 \pm 2,19$ ve $14,12 \pm 3,65$ arasında değişim gösterdiği tespit etmişlerdir.

Çalışmamızda Çanakkale’den elde edilen *Ostrea edulis*’in toplam ağırlığı 37,18 ile 102,27g arasında, kabuk ağırlığı 30,53 ile 93,29g arasında, et ağırlığı 3,31 ile 9,27g arasında, et oranı ise %4,55 ile %15,11 arasında olduğu görülmüştür. Et ağırlığı $5,17 \pm 0,20$ gr, kabuk ağırlığı ise $56,70 \pm 3,00$ gr olarak saptanmıştır. Bu durumda et ile kabuk ağırlığı toplandığında toplam ağırlıktan 3,84 gr eksik olan bu ağırlık canlı istiridyenin kabuğunda tutmuş olduğu su olarak kabuklu olarak kabul edilir. Bu durum vücut ağırlığına göre %6 dolayında suyun kabuk içerisinde bulunabildiğini ortaya koymaktadır. Çok önemli ihrac potansiyeli olan bu canlının Türkiye denizlerinde yetiştirilebileceği ortamlar vardır (Alpbaz, 1993). Alpbaz ve ark., 1990 yılında İzmir’de yapılan çalışmada toplam ağırlık $148,63 \pm 5,51$ gr. olarak bildirmiştir ve bu çalışma Çanakkale’den alınmış *O. edulis*’lerin İzmir’den alınan *O. edulis*’lerin daha iri oldukları görülmektedir. Alpbaz ve Önen (1989)’yılında yaptıkları sonuçlara göre ise İzmir orjinli istiridyelerde kabuk ağırlığı 112,00g, et ağırlığı ise 17,38 g’dır. Kabuk ve et ağırlığı toplamı 129 g’dır. Bu durumda kabukta tutulan su miktarı %12 civarında olduğu görülmüştür. Acarlı

ve ark., (2011)'de yaptıkları çalışmada ise et veriminin %6,65 ile %12 arasında değişim gösterdiği bulunmuş ve bu çalışma ile en alt sınırdaki et verimine yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada Çanakkale'den elde edilen *Arca noae*' nin toplam ağırlığı 20,75 ile 48,09 g arasında, kabuk ağırlığı 10,59 ile 25,45 g arasında, et ağırlığı 6,04 ile 15,62 g arasında, et oranının ise %24,39 ile %35,15 arasında olduğu görülmüştür. *Arca noae*' lerin canlı ağırlığı 31,22±1,90 g olarak saptanmıştır. Toplam et ağırlığı 9,18±0,67 g, kabuk ağırlığı 16,14±1,13 g'dır. Kabuk ve et ağırlığı toplamı 25,32 g iken *A. noae*' lerin kabuk içerisinde %18,9'luk bir su tutma oranının olduğu bulunmuştur. Acarlı ve ark., (2018)'de yaptıkları Gerence körfezindeki çalışmaya göre, et verimini %17,48-27,71 arasında değişim göstermektedir.

Chlamys varia (*M. varia*)'nın İzmir'den elde edilen toplam ağırlığı 3,06 ile 5,60 gr arasında, kabuk ağırlığı 1,62 ile 2,73 g arasında, et ağırlığı 0,88 ile 1,98 g arasında, et oranı ise %28,75 ile %35,35 arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, *M. varia* incelenen türler arasında en küçük vücut ağırlığına sahiptir. Buna göre, et ağırlığı 1,43±0,55 g olup bu değerler ile saptanan iç organlar ve et ağırlık oranı %32,05±3,29'dur. Vücut uzunlukları 27,45±5,45 mm, vücut eni 26,0±2,5 mm'dir. Tür ile ilgili Türkiye'de yapılan ilk çalışmadır.

Pina'nın İzmir'den elde edilen toplam ağırlığı 510,00 ile 2184 g arasında, kabuk ağırlığı 410,00 ile 1681,00 g arasında, et ağırlığı 100,00 ile 503,00 g arasında, et oranı ise %19,60 ile %28,32 arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada İzmir Körfezi'nden toplanan pinalarda ortalama boy 453,92±13,20 mm olarak bulunmuştur. En uzun boylu bireyde 590,00 mm olarak tespit edilmiştir. Ortalama en 177,85±6,30 mm, kalınlık 56,57±1,76 mm'dir. Pinalarda ortalama ağırlık 945,15±109,49 g, en ağır birey ise 2184 g olarak gözlenmiştir. Et oranı %24,72±0,78'dir. Bu duruma göre bir bireyden ortalama 233,64 g et elde edilebilir. Bu bulgulara göre ele alınan türlerde Türkiye'de en uzun boylu kabuklu su canlısı olduğu anlaşılmaktadır. Tebble (1976), İngiltere sularında bulunan *P. fragilis* türü pinalarda iri bireylerin 304,80 mm boya ulaşabildiğini tesbit etmiştir. Buna göre *P. nobilis* türü *P. fragilis* türünden daha iri yapıldıkları izlenmektedir. Son yıllarda türün dağılımının da büyük düşüşler görülmüştür. Aksu ve ark., 2021, *Pinna nobilis* neslinin tükenme tehlikesinin devam ettiğini belirlemişlerdir. Güney Marmara Denizi'nde ölüm oranları 2020 ve 2021 yılları için sırasıyla %35,96 ve %16,12 olarak bildirilmiştir (Acarlı ve ark., 2021).

Ruditapes decussatus'un İzmir'den elde edilen toplam ağırlığı 9,14 ile 33,92 gr arasında, kabuk ağırlığı 3,74 ile 13,90 g arasında, et ağırlığı 2,29 ile 13,16 g arasında, et oranı ise %12,42 ile %38,79 arasında olduğu görülmüştür. Tarkan ve Oray (1993)'de yaptığı İzmit Körfezi ve Seymen Enez Işık Dalyanı'nın da *R. decussatus*' ların araştırılması ile ilgili vermiş olduğu çalışmada, Enez, Işık Dalyanında, boyu 27,9-42,8 mm, eni 20-29,7 mm'ye ve ağırlığı 4,5 – 14,9 gr olarak tespit edilmiş ve Seymen'de ise boyu 12,9-28,6 mm'ye ağırlıkları 1-13,2 g, boyu 20-32,1 mm, ağırlığı ise 4,9-16,5 g olarak bulmuşlardır. Fırat (1990)'da İzmir Körfezi'nde bahar aylarında almış olduğu örneklerde ortalama boy 40,17 mm, ortalama en 27,68 mm, kalınlığı 18,15 mm ve ortalama ağırlığı 12,23 g olarak bulmuştur. Barillari ve ark., (1990)'da yaptıkları çalışmada ortalama en 39,3 mm bulmuşlardır.

Tekin ve Alpbaz, (1991)'de kasım ayında almış oldukları örneklerin vücut uzunluklarının 30-27 ve 25 mm olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmada, İzmir körfezinden toplanan akivadeslerde ortalama toplam ağırlık $13,50 \pm 0,38$ g, et ağırlığı $3,92 \pm 0,15$ g olarak saptanmıştır. Bu verilere göre et verimi %28,96'dır. Kabuk ağırlığı ile et ağırlığı toplamı 10,07 gr olup toplam canlı ağırlıktan 3,43 g daha azdır. Bu durum canlı olarak pazarlanan akivadesler kabukları içerisinde toplam ağırlığının %25,4'ü oranında su tutabilmektedir. Bu değerler sonucunda, Türkiye sularından toplanan *R. decussatus*'larda toplam ağırlığın ortalama 12,15 g'a yakın değerler olduğunu göstermektedir.

Venus verrucosa'nın Ayvalık'tan elde edilen toplam ağırlığı 19,55 ile 48,96 g arasında, kabuk ağırlığı 11,85 ile 31,85 g arasında, et ağırlığı 2,88 ile 8,62 g arasında, et oranı ise %10,82 ile %29,37 arasında olduğu görülmüştür. Bello (1986)'da yaptıkları çalışmada *V. verrucosa*'ların 25 mm'den küçük olanların toplanmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, *V. verrucosa*, Türkiye'de daha çok Ege denizinde bulunmakta olup, bu çalışmada Ayvalık yöresinden toplanan örneklerin vücut uzunluğu $39,88 \pm 0,39$ mm'dir ve en uzun boylu olarakta 46,59 mm boy uzunluğuna sahip bireye rastlanmıştır. En fazla vücut eni olan birey ise 50,31 mm olarak bulunmuştur. Ortalama olarak hesaplanan vücut uzunluğu ve vücut eni değerleri ise sırasıyla $30,39 \pm 0,99$ g olup ortalama et oranı da %16,44 \pm 0,48 olarak saptanmıştır. Bu değerler oldukça yüksek değerler olup pazarlamada önce iri boylu olanlar değer bulduğu için genel olarak iri bireyler ihraç edilebilmekte ve pazar bulabilmektedir. Bunun yanında bireylerin ağırlığının yanında et ağırlığı $4,97 \pm 0,20$ g kabuk ağırlığı ise $18,49 \pm 0,60$ g olarak bulunmuştur. Bu durumda et ve kabuk ağırlığı toplamı 23,46 g'dır. Bu sonuçlar canlı pazarlanan bireylerin ortalama 6,93 g su ve canlı ağırlığın %26,8'inin su olduğunu göstermektedir.

Vongole'nin Ayvalık'tan elde edilen toplam ağırlığı 5,85 ile 11,19 g arasında, kabuk ağırlığı 3,95 ile 7,89 g arasında, et ağırlığı 0,88 ile 1,72 g arasında, et oranı ise %13,72 ile %22,05 arasında olduğu görülmüştür. Alpbaz ve Önen (1989)'da yaptıkları çalışmada vongole'lerin ortalama vücut ağırlığı 10,11 g, vücut uzunluğu 27,30 mm, vücut eni 29,32 mm, vücut kalınlığı ise 16,17 mm, et verimi %21 olarak bulmuşlardır. Alpbaz ve ark., (1990)'da vongolelerde yaptığı çalışmada ortalama ağırlık $9,76 \pm 0,07$ g ve ortalama et ağırlığı $2,82 \pm 0,05$ g ve ortalama vücut uzunluğunu $27,6 \pm 0,01$ mm olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada ise vongolelerde ortalama boy $25,70 \pm 0,72$ mm, ortalama ağırlık $8,66 \pm 0,65$ g olarak saptanmıştır. Alpbaz ve ark., (1990)'da yaptığı çalışmada et oranını %28,89 olarak bulmuştur. Bu çalışmada ortalama et oranı %15,94 \pm 0,77 olarak bulunmuştur. Alpbaz ve Önen (1989)'da yaptıkları çalışmanın örnekleme zamanının gonad gelişiminin olduğu nisan ayında olması et verimini arttırdığının göstergesi olmaktadır. Buna göre iki değer arasındaki farkın, örnekleme zamanının ihracat dönemi olan kış aylarında yapılmış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bunun yanında Deval ve Oray, 1992'de Vongole'lerin gamet gelişiminin Mayıs ayı içerisinde başladığını bildirmişlerdir. Haşlanmış et verimini ortalama 1,3-1,4 g arasında bulmuşlardır.

Callista chione'nin Mordoğan'dan elde edilen toplam ağırlığı 33,00 ile 108,40 g arasında, kabuk ağırlığı 18,7 ile 58,00 g arasında, et ağırlığı 6,90 ile 26,70 g arasında, et oranı ise %18,87 ile %27,47 arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada cilalı kum midyesi (*Callista chione*)'lerde ortalama boy

50,05±1,67 mm, ortalama en 63,70±1,67 mm, ortalama ağırlık ise 63,42±5,11 g olarak bulunmuştur. Ortalama et oranı ise %24,35±0,67 olarak bulunmuştur. Canlının kalınlığı bile 30 mm'ye yakındır. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi Türkiye'deki Veneridae familyası üyeleri içerisinde en büyük canlıdır, öyle ki 15-16 tanesi yaklaşık 1 kilo gelmektedir. Eti oldukça dolgun ve canlıyı kuma gömebilen iri ayak kası ile oldukça lezzetli bir türdür. Canlının oldukça ağır olan ortalama 33,9±2,55 g'lık kabuğuna rağmen et oranı ele alınan türlerde 7. sırada yer aldığı görülmektedir.

İzmir'den elde edilen *Artemis (Dositia exoleta)*'nin toplam ağırlığı 12,23 ile 26,81 gr arasında, kabuk ağırlığı 8,23 ile 17,93 g arasında, et ağırlığı 2,16 ile 6,81 g arasında, et oranı ise %12,39 ile %25,65 arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada *D. exoleta* 'nın ortalama vücut ağırlığı 23,18±0,78 g, et ağırlığı ise 4,11±0,19 g olup bu verilere göre et oranı %17,6±0,63 olarak hesaplanmıştır. *D. exoleta*'da vücut uzunluğu 40,69±0,47 mm, eni 38,23±0,43 mm, kalınlık ise 21,67±0,30 olarak bulunmuştur. Buradan anlaşılacağı gibi bu türün yuvarlağa yakın bir kabuk yapısı vardır. Günümüze kadar Türkiye'deki bu canlı üzerinde vücut özellikleri ile ilgili bir yayına rastlanmamıştır. Et oranı ve biyometrik ölçümü açısından bu tez çalışması Türkiye'de yapılan ilk çalışmadır.

Mordoğan'dan elde edilen *Mactra corallina* toplam ağırlığı 18,60 ile 19,50 g arasında, kabuk ağırlığı 4,20 ile 5,80 g arasında, et ağırlığı 6,80 ile 7,50 g arasında, et oranı ise %36,55 ile %38,46 arasındadır. Bu çalışmada, Ege bölgesinden toplanan *M. corallina*'da ortalama vücut ağırlığı 19,05±0,45 g olup et verimleri ise 7,15±0,35 g, et verim yüzdesi ise %37,51±0,95 olarak hesaplanmıştır. Canlının vücut uzunluğu 40,21±0,56 mm, vücut eni 40,85±0,15 mm ve vücut kalınlığı 23,81±0,80 mm'dir. Bu ölçümlerden bu türün eni, boyu nispeten yakın bulunmuştur. Türkiye'de ticari önemi olmayan bu canlı, yurt dışında özellikle Avrupa ülkelerinde taze olarak tüketilmektedir (Chetoui, 2019)

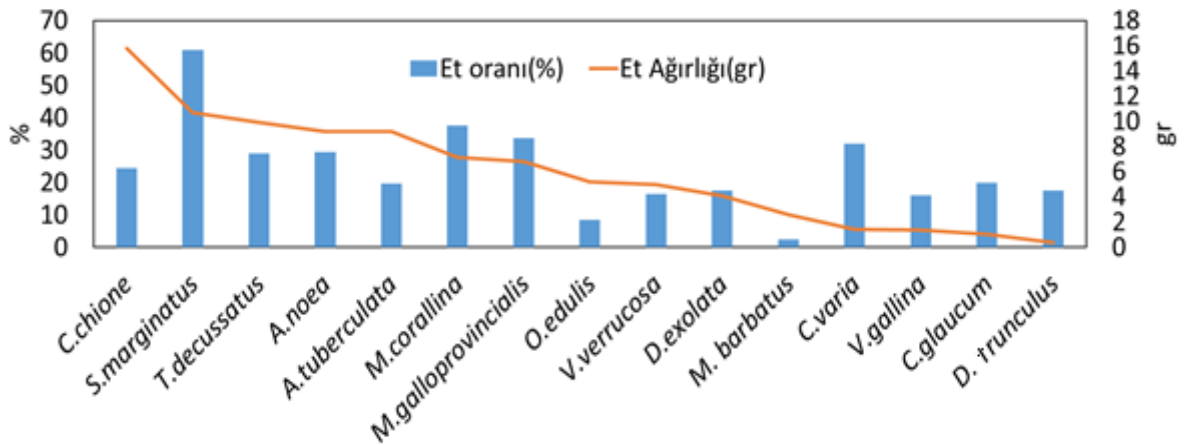
İzmir'den elde edilen *Cerastoderma glaucum*'un toplam ağırlığı 4,02 ile 7,46 g arasında, kabuk ağırlığı 2,31 ile 3,99 g arasında, et ağırlığı 0,66 ile 1,63 g arasında, et oranı ise %16,41 ile %26,12 arasındadır. Mordoğan'dan elde edilen *C. glaucum*'un toplam ağırlığı 20,42 ile 106,79 gr arasında, kabuk ağırlığı 10,00 ile 54,60 g arasında, et ağırlığı 4,70 ile 22,10 g arasında, et oranı ise %14,98 ile %23,79 arasındadır. Wolowicz (1984)'de yaptığı çalışmada 4 yaşındaki bireylerin boylarının 20-22 mm'ye ulaştığını kaydetmiştir. Bu çalışmada da boy uzunluğu açısından benzerlik görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada *C. glaucum*'larda ortalama vücut ağırlığı 5,11±0,18 g, ortalama et ağırlığı 1,01±0,04 g ortalama kabuk ağırlığı ise 2,96±0,10 g olarak saptanmış olup, et oranı %19,84±0,36 olarak bulunmuştur. Ortalama vücut uzunluğu 22,35±0,25 mm, ortalama eni ise 24,26±0,31 mm olarak bulunmuştur. *C. glaucum* için et oranıdır.

Bu çalışmada, *Acanthocardia tuberculata (C. tuberculatum)*' lar da ortalama vücut ağırlığı 46,67±4,44 gr, et ağırlığı 9,18±0,98 g olarak saptanmış olup bu değerler ile et oranı %19,63 olarak bulunmuştur. Ortalama vücut uzunluğu 44,11±1,32 mm, ortalama eni ise 43,83±1,33 mm olarak bulunmuştur. Bu verilerden anlaşılacağı üzere *A. tuberculata* oldukça iri yapılı bir canlıdır.

Pamucak'tan elde edilen *Donax trunculus*'un toplam ağırlığı 0,77 ile 2,90 g arasında, kabuk ağırlığı 0,50 ile 1,85 g arasında, et ağırlığı 0,11 ile 0,56 g arasında, et oranı ise %12,86 ile %23,70 arasındadır.

Geldiay ve Uysal (1972)'de, *D. trunculus*'larda bu çalışma ile benzer bölgelerde çalışmışlar ve vücut uzunluğunun 8-15 mm arasında olduğunu, ortalama boyunun 12,8 mm, ortalama genişliklerinin 22,8 mm (min.12, max.27 mm) ve ortalama kalınlıklarının ise 7 mm (min. 4 , max. 9 mm) arasında olduğunu kaydetmişlerdir. Araştırmacıların sadece gözlem olarak verdikleri bu değerlerin vücut uzunluğu ve vücut eni bakımından saptadığımız değere yakın olduğu, vücut kalınlığı bakımından ise biraz farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada *D. trunculus*'larda vücut uzunluğu ve genişliği sıra ile $13,64 \pm 0,17$ mm ve $23,76 \pm 0,38$ mm'dir. *D. trunculus*'larda vücut ağırlığı $2,06 \pm 0,08$ g, et ağırlığı ise $0,36 \pm 0,01$ g ve bu verilere göre et oranı $\%17,44 \pm 0,42$ 'dir. Bu verilerden kabuk içerisinde su tutma oranının $\%18,9$ olduğu bulunmuştur. FAO verilerine göre bu tür tüm Türkiye kıyılarında bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı pamucak kıyılarında bol olarak bulunduğu saptanmıştır. Uysal (1967)'de İzmir Körfezi'nde yaptığı çalışmada, bu türün Türkiye'de gıda olarak tüketilmemesine rağmen, Avrupa ve Akdeniz ülkelerinin bazılarında gıda olarak değerlendirildiğini bildirmiştir. 2009 da Deval'ın yapmış olduğu çalışmada aynı şekilde değerlendirmiş; Türkiye de çıkarılan donaxların ihracat amaçlı olduğunu belirtmiştir.

Solen marginatus'larda bu araştırmacının yaptığı çalışmaya göre boylarının 47,3-73,6 mm, eninin ise 7,3-9,9 mm olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise Sülünüslerde saptanan biyometrik ölçümlere göre, $92,18 \pm 1,75$ g, vücut eni $13,07 \pm 0,29$ mm, vücut ağırlığı $17,52 \pm 0,84$ g, et ağırlığı ise $10,68 \pm 0,56$ g olarak saptanmıştır. Bu verilere göre iç organlar oranı $\%60,83 \pm 0,30$ olarak bulunmuştur. Bu durumda kabuklular içerisinde et oranı bakımından yüksek bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Araştırmacının bildirdiğine göre bireylerin ölçümleri daha düşüktür, bu normaldir, çünkü bu çalışmada kullanılan bireyler ticari boyuttakilerdir. *Solen marginatus*'in İzmir'den elde edilen toplam ağırlığı 13,40 ile 26,97 g arasında, kabuk ağırlığı 3,61 ile 7,28 g arasında, et ağırlığı 6,95 ile 16,80 g arasında, et oranı ise $\%51,67$ ile $\%67,64$ arasında olduğu görülmüştür. Genel olarak incelendiğinde; ele alınan türler arasında total ağırlığı en yüksek *P. nobilis* olarak saptanmış, en hafif olan ise *D. trunculus*' tur. Et oranı olarak en yüksek *S. marginatus* ve en düşük olan *O. edulis*, İstiridye et oranı olarak en az verimli olan türdür (Şekil 18).



Şekil 18. Türlerin et oranı ve et ağırlığı karşılaştırması

Tablo 1 incelendiğinde; et oranı haricinde tüm kriterler açısından ilk sırayı *Pinna nobilis* almaktadır. Bunun yanında *P. nobilis*'den sonra gelen üç türün tüm ölçümleri; Toplam ağırlık açısından sırasıyla *O.edulis*, *C.chione*, *C. tuberculatum*'dur. Et ağırlığı açısından sırasıyla *C.chione*, *S. marginatus*, *C. tuberculatum*'dur. Kabuk ağırlığı açısından sırasıyla *C.chione*, *C. tuberculatum* ve *V. verrucosa*'dır. En olarak sırasıyla *O.edulis*, *A.noae*, *M. corallina*'dir. Boy olarak sırasıyla *S. marginatus*, *O.edulis*, *M.galloprovincialis*'dir. Kalınlık olarak sırasıyla *C. tuberculatum*, *A.noae*, *O.edulis*'dir. Et oranı incelendiğinde sırasıyla *S. marginatus*, *M. corallina*, *M.galloprovincialis*'dir. Ayrıca tüm biyometrik ölçümlerde *P. nobilis*'in açık ara ile en başta olmasına rağmen et ağırlığı açısından ele alınan türler arasında 7. sıradadır. En küçük tür olan *Chlamys varia*'daki et oranı ise bu türler arasında 4. sırada yer aldığı görülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1. İncelenen kabuklu türlerinin biyometrik ölçümleri ve et oranı (%)

| Tür | Tür (Latince) | Yer | N | Toplam ağırlık (gr) | Et ağırlığı (gr) | Kabuk ağırlığı (gr) | En (mm) | Boy (mm) | Kalınlık (mm) | Et oranı (%) |
|--------------------|----------------------------|-----------|-----|---------------------|------------------|---------------------|------------|-------------|---------------|--------------|
| Kara midye | <i>M.galloprovincialis</i> | İzmir | 100 | 20,30±0,52 | 6,79±0,19 | 6,34±0,31 | 32,25±0,42 | 54,95±0,70 | 22,85±0,25 | 33,66±0,58 |
| Kıllı midye | <i>M. barbatus</i> | Ayvalık | 30 | 12,38±0,33 | 2,61±0,12 | 5,24±0,19 | 24,47±0,28 | 47,45±0,59 | 21,22±0,31 | 21,31±0,95 |
| İstiridye | <i>O.edulis</i> | Çanakkale | 30 | 65,74±3,19 | 5,17±0,22 | 56,7±3,00 | 60,09±0,81 | 73,13±1,17 | 28,11±0,96 | 8,36±0,49 |
| Taş midyesi | <i>A.noae</i> | Çanakkale | 30 | 31,22±1,90 | 9,18±0,67 | 16,14±1,13 | 59,14±1,39 | 29,6±0,57 | 31,12±0,78 | 29,29±0,88 |
| Alaca tarak | <i>C. varia</i> | İzmir | 30 | 4,33±1,27 | 1,43±0,55 | 2,17±0,50 | 26,00±2,50 | 27,45±5,45 | 9,60±1,15 | 32,05±3,29 |
| Pina | <i>P. nobilis</i> | İzmir | 30 | 945,15±109,49 | 233,64±25,79 | 712,28±84,55 | 177,85±6,3 | 453,92±13,2 | 56,57±1,76 | 24,72±0,78 |
| Akivades | <i>T. decussatus</i> | İzmir | 100 | 13,5±0,38 | 3,92±0,15 | 6,15±0,16 | 40,17±0,35 | 29,33±0,29 | 18,65±0,19 | 28,96±0,39 |
| Kidonya | <i>V. verrucosa</i> | Ayvalık | 50 | 30,39±0,99 | 4,97±0,20 | 18,49±0,60 | 43,46±0,47 | 39,88±0,39 | 26,06±0,32 | 16,44±0,48 |
| Cik cik | <i>V. gallina</i> | Ayvalık | 30 | 8,66±0,65 | 1,35±0,08 | 5,96±0,45 | 29,49±0,68 | 25,70±0,72 | 15,22±0,47 | 15,94±0,77 |
| Cilalı kum midyesi | <i>C.chione</i> | Mordoğan | 30 | 63,42±5,11 | 15,78±1,49 | 33,90±2,55 | 63,70±1,67 | 50,05±1,34 | 29,6±0,92 | 24,35±0,67 |
| Artemis | <i>D.exoleta</i> | İzmir | 50 | 23,18±0,78 | 4,11±0,19 | 13,32±0,50 | 40,69±0,47 | 38,23±0,43 | 21,67±0,30 | 17,62±0,63 |
| Yalancı akivades | <i>M. corallina</i> | Mordoğan | 30 | 19,05±0,45 | 7,15±0,35 | 5,10±0,80 | 40,85±0,15 | 40,21±0,56 | 23,81±0,80 | 37,51±0,95 |
| Kardiyum | <i>C. glaucum</i> | İzmir | 50 | 5,11±0,18 | 1,01±0,04 | 2,96±0,10 | 24,26±0,31 | 22,35±0,25 | 17,80±0,20 | 19,84±0,36 |
| Kardiyum | <i>C. tuberculatum</i> | Mordoğan | 30 | 46,67±4,44 | 9,18±0,98 | 23,52±2,31 | 43,83±1,33 | 44,14±1,32 | 36,56±1,30 | 19,63±0,51 |
| Pamucak midyesi | <i>D. trunculus</i> | Pamucak | 35 | 2,06±0,08 | 0,36±0,01 | 1,31±0,05 | 23,76±0,38 | 13,64±0,17 | 8,17±0,11 | 17,44±0,42 |
| Sülünes | <i>S. marginatus</i> | İzmir | 30 | 17,52±0,84 | 10,68±0,56 | 5,26±0,24 | 16,16±0,20 | 92,18±1,75 | 13,07±0,29 | 60,83±0,93 |

4. Sonuç

Türkiye, ekonomik değere sahip kabuklu su canlıları bakımından zengin tür çeşitliliğine sahiptir. Bu türlerin et fiyatı olarak en pahalısının kidonya ve en ucuz olanın ise kara midye olduğu saptanmıştır. Ülkemiz sahillerinde sahip olduğumuz kabuklu su canlıları konusunda günümüze dek çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Ancak yemeklik olarak yararlanılabilecek kabuklu su canlılarının biyolojik özellikleri, yayılış alanları ve ekonomik önemleri konusunda yapılmış araştırma sayısı oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmadan anlaşılacağı üzere ülkemiz sularında var olan ve çeşitli Akdeniz ülkelerinde insan gıdası olarak değerlendirilen pek çok kabuklu su canlısı bulunmaktadır. Burada değinilen canlıların her birisinin tek başına bir araştırma konusu olabilecek türler olduğu, bu konuda ileride daha yoğun araştırmalar yapılmasının yararlı ve gerekli olduğu görülmektedir. Özellikle bu tip çalışmalar çeşitli kabuklu türlerinin yaşadığı ortamların ve Türkiye sularındaki dağılımlarının saptanması yönünde olabileceği gibi, ekonomik boyutlarda populasyonlar içerip içermediği veya içerme ihtimali olan alanların bulunması ve ekonomik olarak bu stoklardan yararlanılıp yararlanılamayacağıının anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder. Bu makale doktora tez çalışmasının bir kısmını içermektedir.

Kaynakça

- Abdallah MAM. Bioaccumulation of heavy metals in mollusca species and assessment of potential risks to human health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2013; 90(5): 552–557.
- Acarlı S, Lok A, Küçükdermenci A, Yıldız H, Serdar S. Comparative growth, survival and condition index of flat oyster, *Ostrea edulis* (Linnaeus 1758) in Mersin Bay, Aegean Sea, Turkey. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 2011; 17(2): 203-210.
- Acarlı S, Lok A, Acarlı D, Küçükdermenci A. Gamogenetic cycle, condition index and meat yield of the Noah's Ark shell (*Arca noae* Linnaeus, 1758) from Gerence Bay, Aegean Sea Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2018; 35(2): 141-149.
- Acarlı S, Acarlı D, Kale S. Current status of critically endangered fan mussel *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) population in Çanakkale Strait, Turkey. *Marine Science and Technology Bulletin* 2021; 62-70.

- Aksu A, Altınağaç U, Demirkıran T. Çanakkale Boğazı'nda *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) popülasyonunda ölüm oranlarının tespiti. Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries 2021; 4(2): 187-196.
- Alba CD de. Mariculture on coastal bodies of water of Baja California and their potential. 2nd International Workshop On Biosaline Research, November 16-20 1980, p.9: La Paz, Mexico.
- Alpbaz AG, Özer A. Olta Balıkçılığı. E.Ü. İzmir: Su Ürünler Fakültesi Yayınları; 1992.
- Alpbaz AG, Hoşsucu H, Mohammad Ali LY. İzmir Körfezinden toplanan kum midyeleri (*ruditapes decussatus*) üzerine bir çalışma. E.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 1981; 18(1,2,3): 97-103.
- Alpbaz AG., Önen M. Türkiye'den ihraç edilen kum midyesi (*venus gallina*) üzerine araştırmalar. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi 1989; 6(21-22-23-24): 78-86.
- Alpbaz AG., Önen M., Çörüş İ. An Investigation about oysters (*Ostrea edulis*) collected from Urla region. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi 1990; 7(24-28):116.
- Alpbaz AG. Kabuklu ve eklembacaklılar yetiştiriciliği. Ders Kitabı, İzmir: E.Ü. Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:26; 1993; sayfa no:317.
- Anonim. Tarım ve Orman Bakanlığı, Mevzuatı Listesi Denizlerde ve İçsularda Ticari Amaçlı Su Ürünleri Avcılığını Düzenleyen 2006 - 2008 Av Dönemine Ait 37/1 Numaralı Sirküler 2022; [https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Kurum/24308110-\(Erişim tarihi: 11.04.2022\)](https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Kurum/24308110-(Erişim tarihi: 11.04.2022))
- Apromar. Apromar La acuicultura en España 2020. Retrieved from [http://www.apromar.es/content/informes-anuales-2020-\(Erişim tarihi: 01.04.2022\)](http://www.apromar.es/content/informes-anuales-2020-(Erişim tarihi: 01.04.2022)).
- Badawi HK, Hasan AK. Comparative electrophoretic studies on the sera of five species of marine molluscs. Bulletin of the Institute of Oceanography and Fisheries 1977; 7(1): 117-123.
- Balcıoğlu EB, Gönülal O. Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinden toplanan midyelerin (*mytilus galloprovincialis*, lamarck, 1819) biyometrisi üzerine bir araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2017; 21(2): 397-400.
- Barillari A, Boldrin A, Pellizzato M, Turchetto M. Environmental conditions in *Tapes philippinarum* cultivation. *Tapes philippinarum*. Biology and Experimentation 1990; 183-217.
- Bello G. Porcentajes teóricos de retención de *Venus verrucosa* L. (Bivalvia: Veneridae) con cedazos de varillas. Investigacion Pesquera 1986; 50(2): 167-177.
- Berenguer JA, Gonzalez L, Jimenez I, Legarda TM, Olmedo JB, Burdaspal PA. The effect of commercial processing on the paralytic shellfish poison (PSP) content of naturally-contaminated *Acanthocardia tuberculatum* L. Food Additives Contaminants 1993; 10(2): 217-230.
- Brand AR. The European scallop fisheries for *Pecten maximus*, *Aequipecten opercularis* and *Mimachlamys varia*. In: Developments in aquaculture and fisheries science. Oxford: Elsevier Science 2006; 991-1058.
- Chetoui I, Bejaoui S, Trabelsi W, Rabeh I, Nechi S, Chelbi E, Soudani N. Exposure of *Mactra corallina* to acute doses of lead: effects on redox status, fatty acid composition and histomorphological aspect. Drug and Chemical Toxicology 2022; 45(1): 311-323.

- Chetoui I, Telahigue K, Bejaoui S, Rabeh I, Ghribi F, Denis F, ElCafsi MH. Annual reproductive cycle and condition index of *Macra corallina* (Mollusca: Bivalvia) from the north coast of Tunisia. *Invertebrate Reproduction & Development*, 2019, 63.1: 40-50.
- Deval MC. Growth and reproduction of the wedge clam (*Donax trunculus*) in the Sea of Marmara, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology* 2009; 25(5): 551-558.
- Deval MC, Oray IK. Marmara Denizi ve Batı Karadeniz’de Beyaz Kum Midyesi (*Chamelea gallina* L. 1758)’in yumurtlama dönemi ve biyometrisi. *İ.Ü. Su Ürünleri Dergisi* 1992; 1: 127-142.
- Devedjiyan. Pêche Et Pêcheuries En Turqui 1915; İstanbul
- Fabi G, Fiorentini L, Giannini S. Experimental shellfish culture on an artificial in the Adriatic Sea. *Bulletin Of Marine Science* 1989; 44(2): 923-933.
- Fırat A. Akivades (*Tapes decussatus*, L.1758) Larva üretimi üzerine araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 35, İzmir, Türkiye, 1990.
- Gäde G. The energy metabolism of the foot muscle of the jumping cockle, *Cardium tuberculatum*: sustained anoxia versus muscular activity. *Journal of comparative physiology* 1980; 137(2): 177-182.
- Geldiay R, Uysal H. Ege Denizi Sahillerinde Tesbit Edilen Türler italik yazılır (Poli) ve *Donax (Serrula) trunculus* un Populasyon Dinamigi ve Ekolojik Ozellikleri Hakkında. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi İlmi Raporlar Serisi 1972; 135:18.
- Ghazaly KS. The bioaccumulation of potential heavy metals in the tissues of the Egyptian edible marine animals. 2.-molluscs. *Bulletin of the National Institute of Oceanography and Fisheries (Egypt)* 1988; 14(2): 79-86.
- Hignette M. Croissance de pinna nobilis Linne (*mollusque eulamellibranche*) apres implantation dans la reserve sourmarine de Monaco The Mediterranean Science Commission 1983; 28(3): 237-238.
- Karakoç Ş. Balıkesir Ayvalık kumru koyu mevkiinden toplanan at midyesinin (*Modiolus barbatus* Linnaeus 1758) besin içeriğinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2020.
- Korringa P. Farming the flat oysters of the genus *Ostrea*: a multidisciplinary treatise fishing news book. England: Elsevier Science Ltd No. 639.4, 1976.
- Korringa P. Farming marine organisms low in the food chain-A multidisciplinary approach to edible seaweed, mussel and clam production. Amsterdam: Elsevier 1976; 264 pp.
- Le-Pennec M., Diss-Mengus B. Aquaculture de *Chlamys varia* (L): Donnese sur la biologie de la larve et de la postlarve. *Vie Marine* 1987; 1: 13-19.
- Loosanoff VL., Davis HC. Rearing Of Bivalve Molluscs. *Marine Biology* 1963; 1:1-136.
- Louro A., De la Roche, J. P., Campos, M. J., Roman, G. Hatchery rearing of the black scallop, *Chlamys varia* (L.). *Journal of Shellfish Research* 2003; 22(1), 95-100.

- Oray IK., Tarkan AN. Catch and aquaculture of the grooved carpet shell, *ruditapes decussatus* L. (1758) in Turkish waters, Aquaculture and the environment. De Pauw, N., Joyce, j., comps. 1991; 14: 249.
- Öztürk B., Doğan, A., Bakır, B. B., Salman, A. Marine molluscs of the Turkish coasts: an updated checklist. Turkish Journal of Zoology 2014, 38.6: 832-879.
- Palombi A., Santarelli M. Gli animali commestibili dei mari d'Italia. Hoepli, Milano 1961; 192-193 pp.
- Peharda M., Bolotin, J., Vrgoc, N., Jasprica, N., Bratos, A., Skaramuca, B.. A study of Noah's Ark shell (*Arca noae* Linnaeus 1758) in Mali Ston Bay, Adriatic Sea. J. Shellfish Res. 2003, 22, 705 – 709.
- Peharda M, Richardson, C. A., Onofri, V., Bratoš, A., Crnčević, M. Age and growth of the bivalve *Arca noae* L. in the Croatian Adriatic Sea. Journal of Molluscan Studies 2002, 68.4: 307-310.
- Peharda M., Popović, Z., Ezgeta-Balić, D., Vrgoč, N., Puljas, S., Franić, A. Age and growth of *Venus verrucosa* (Bivalvia: Veneridae) in the eastern Adriatic Sea. Cah. Biol. Mar. 2013; 54(2): 281-286.
- Rueda, J. L., Gofas, S., Aguilar, R., Torriente, A. D. L., García Raso, J. E., Lo Iacono, C., Urra, J. Benthic fauna of littoral and deep-sea habitats of the Alboran Sea: a hotspot of biodiversity. In: Alboran Sea-Ecosystems and Marine Resources. Springer, Cham. 2021; 285-358.
- Sarıkaya S. Midye (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck) yetiştiriciliğinde aynı ortam koşullarında farklı üretim yöntemlerinin gelişmeye etkisi üzerinde araştırmalar. E.Ü. Ziraat Fakültesi Doktora Tezi, sayfa no: 92, İzmir, Türkiye, 1978.
- Shpigel M, Neori A, Gordin H. Oyster and clam production in the outflow of marine fish ponds in İsrail. Aquaculture And The Environment. DePauw, N., Joyce, J., Comps. 1991; 14: 295.
- Šiletić T. Marine fauna of Mljet National Park (Adriatic Sea, Croatia). 5. Mollusca, Bivalvia. Natura Croatica 2006; 15(3): 109-169.
- Stirling HP., Okumuş İ. Growth, mortality and shell morphology of cultivated mussel (*mytilus edulis*) stocks cross-transplanted between two scottish sea lochs, Marine Biology 1994; 119:115-123.
- Sunlu U, Egemen O, Kaymakçı A. Trace Metals in Mediterranean mussel *mytilus galloprovincialis* (L.1758) and in surficial sediments from Urla, İskele İzmir, Turkey, International Sempodium on Marine Pollution. Extended Synopsis, Monte Carlo Monaco 1998; 645-646.
- Tarkan AN. Marmara ve Ege Denizinde *Tapes decussatus* (Linnaeus, 1758)'un Biyoekojisi Üzerinde Araştırmalar. İ.Ü. Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Deniz Biyolojisi Programı Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 1989.
- Tarkan AN, Oray IK. Studies on the breeding of *Ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) in Işık Dalian, in: Barnabé, G. ve ark., (Ed.) Production, environment and quality: Proceedings of the International Conference Bordeaux Aquaculture '92, Bordeaux, France 1993; 18: 513-521.

- Tebble N. British bivalve seashells. The Royal Scottish Museum (Natural History), Edinburg 1976; 213 p.
- Tekin M., Alpbaz, AG. İzmir S.Ü.Y.O. Dalyanı'nda Akivades (*Tapes decussatus* L. 1958) yetiştiriciliği üzerine araştırmalar. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1991; 2(3): 147-152.
- Tekoğul H, Turkiye'de bulunan bazı ekonomik kabuklu su canlıları uzerinde araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir, Türkiye, 1999.
- Tekoğul H., Alpbaz A. Türkiye'de İnsan gıdası olarak kullanılabilcek kabuklu su canlıları. Uluslararası Akdeniz Balıkçılık Kongresi 1997; İzmir, Türkiye.
- Tekoğul H, Alpbaz A. Akivadeslerde (*Tapes decussatus*), Mevsim Dışı Yumurta Alımının Teşvik Edilmesi Üzerinde Araştırmalar 1998; IX. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu 17-19 Eylül.
- Tsotsios D, Tzovenis, I, Katselis, G, Geiger SP, Theodorou JA. Spat settlement of the smooth scallop *Flexopecten glaber* (Linnaeus, 1758) and variegated scallop *Chlamys varia* (Linnaeus, 1758) in Amvrakikos Gulf, Ionian Sea (Northwestern Greece). Journal of shellfish Research, 2016; 35 (2): 467-474.
- TUİK. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2020-37252>, 2020.
- Uysal H. İzmir Körfezinde tespit edilen iki solen türü *Solen vagina* L. ve *Pharus legumen* L. hakkında E.Ü. Fen Fakültesi İlmi Raporlar Serisi 1967; 41:6-12.
- Uysal H. Türkiye sahillerinde bulunan midyeler «*Mytilus galloprovincialis* Lamarck» üzerinde biyolojik ve ekolojik araştırmalar. E.Ü. Fen Fakültesi İlmi Raporlar Serisi 1970; 79.
- Uysal H. Deniz Molluskları. E.Ü. Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans 1986-87 Ders Notu, İzmir, Türkiye, 1988.
- Vera M., Pardo BG., Cao A., Vilas R., Fernández C., Blanco A., Martínez P. Signatures of selection for bonamiosis resistance in European flat oyster (*Ostrea edulis*): new genomic tools for breeding programs and management of natural resources. Evolutionary Applications 2019; 12(9): 1781-1796.
- Von Salvini-Plawen L. Le monde Animal 1973; vol III, pp. 30.
- Wolowicz M. *Cardium glaucum* (Poiret, 1789) population from Gdansk Bay (Baltic Sea). Polish Archives Hydrobiology 1984; 31:33-44.
- Zahradnik JW. Performance of system for commercial scallop aquaculture in british columbia. Science Council of British Columbia Research Grant 1985; 49-45.
- Zaouali J. Mollusks in the Bou Grara Sea (southern, Tunisia): initial biometric data on *Cerastoderma glaucum* Poirêt, 1789 (Bivalvia, Eulamellibranchia, Cardiae). Archives de L'institut Pasteur de Tunis 1979; 56(4): 403-424.
- Xunta de Galicia.. Anuario acuicultura 2018 <https://www.pescadegalicia.gal/Publicaciones/AnuarioPesca2018/indice.html>, Accessed 31nd March 2022.

AISI 316L Alaşımın Tel Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzeysel Kalitesine Etkisi

Kutay AYDIN^{1*}, Hakan KAZAN²

^{1,2}Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0003-3614-4877>

²<https://orcid.org/0000-0001-7745-8974>

*Sorumlu yazar: kutay.aydin@amasya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.03.2022

Kabul tarihi: 02.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Tel erozyon yöntemi

WEDM

AISI 316L

ANOVA

Yüzeysel pürüzlülüğü

ÖZ

Endüstride kullanımı oldukça yaygınlaşan tel erozyonla işleme teknolojisi, özellikle geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmesi zor parçaların imalatı ve düşük enerji tüketimi bakımından imalat sektöründe önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenmesi sırasında farklı kesme parametrelerinin yüzeysel kalitesi üzerinde oluşturduğu etkilere odaklanılmıştır. Bununla birlikte üretim süresini uzatmadan yüzeysel kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı kesme parametreleri ile tam faktöriyel tasarımı deneysel çalışmalar yapılmış, devamında varyans ve regresyon analizleri ile kesme parametrelerinin yüzeysel kalitesi üzerindeki davranışları araştırılmıştır. Sonuç olarak, ilerleme hızı ve bombardıman süresinin artması ve bekleme süresinin azalması ile yüzeysel pürüzlülük değerlerinde artış eğilimi görülmüştür. En düşük yüzeysel pürüzlülük değeri, 3,095 µm olarak 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 µs bombardıman süresi ve 480 µs bekleme süresi parametrelerinde ölçülmüştür. İstatistiksel veri analizleri sonucunda, yüzeysel kalitesi açısından en etkin kesme parametresinin %83,96 oranla bombardıman süresi olduğu tespit edilmiştir.

The Impact of the Cutting Parameters on the Surface Quality of AISI 316L with WEDM

Research Article

Article History:

Received: 10.03.2022

Accepted: 02.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Wire cutting method

WEDM

AISI 316L

ANOVA

Surface roughness

ABSTRACT

Wire electrical discharge machining (WEDM) which is widely used in the industry has an important place in the manufacturing process. WEDM is a preferred manufacturing method, especially in terms of the production of parts that are difficult to produce with traditional manufacturing methods and low energy consumption. This focused on the effects of different cutting parameters on the surface quality of AISI 316L austenitic stainless steel alloy during wire erosion processing. In addition, it is aimed to increase the surface quality without extending the production period. In this context, experimental studies were carried out in full factorial design with different cutting parameters, and then the behavior of the cutting parameters on the surface quality was investigated with variance and regression analyses. As a result, an increasing trend was observed in the surface roughness values with the increase in the feed rate and pulse on time and the decrease in the pulse off time. The lowest surface roughness value was measured as 3.095 µm at 2 mm/min feed rate, 16 µs pulse on time, and 480 µs pulse off time parameters. As a result of statistical data analysis, it was determined that the most effective cutting parameter in terms of surface quality was the pulse time with a rate of 83.96%.

To Cite: Aydın K., Kazan H. AISI 316L Alaşımın Tel Erozyon Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzeysel Kalitesine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 575-584.

1. Giriş

Tel erozyonla işleme, yüksek mekanik ve ısı özelliklerinden dolayı işlenmesi zor malzemeler olarak bilinen süper alaşımlar, metal ve seramik matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesinde sıklıkla başvurulan geleneksel olmayan imalat metotlarından biridir (Tosun ve ark., 2003; Marelli ve ark., 2020; Işık ve ark., 2021; Eksilmez ve ark., 2022). Tel erozyonla işleme yöntemi, yüksek sertlik ve tokluğa sahip malzemelerden karmaşık şekiller üretebilme kabiliyeti sebebiyle savunma, havacılık, otomotiv, kalıp ve kalıp yapım vb. endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chiang ve ark., 2007; Tilekar ve ark., 2014; Cebeci ve ark., 2020).

Tel erozyon yönteminin çalışma prensibi temel olarak iletken iş parçasından, servo motor yardımıyla pirinç, tungsten, bakır veya molibden tel kullanılarak temas yüzeyi oluşturulmadan talaş kaldırılması işlemidir. Burada, ısınma ve soğumanın tekrarlandığı karmaşık bir elektro termal süreç gerçekleşir. Telden (anode) iş parçasına (cathode) doğru akan elektrik arkı ile iş parçası eriyip buharlaşır; talaş, yalıtkan sıvı vasıtası ile soğutulmuş iş parçasından uzaklaştırılır (Snoeys ve ark., 1986; Esmé ve ark., 2013; Özlü, 2021).

Endüstrinin sürekli artış gösteren seri ve kaliteli ürün talebinin karşılanabilmesi için tel erozyon kesme parametreleri hem endüstri hem de akademide önemli bir araştırma konusudur. Bu bağlamda çok sayıda çalışmada bombardıman süresi, bekleme süresi, tel ilerleme oranı, akım, voltaj vb. birçok giriş parametresinin talaş kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü gibi çıktılara etkisi farklı malzemeler için deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır (Koklu, 2012; Li ve ark., 2013; Azam ve ark., 2016; Aydın ve ark., 2022). Bakır tel kullanılarak, bombardıman süresi ve tepe akımının AISI 316 alaşımından tel erozyon yöntemiyle talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi L9 istatistiksel yaklaşımıyla incelenmiştir (Ramachandra, 2017). Bu çalışma sonucuna göre hem yüzey pürüzlülüğü hem de talaş kaldırma oranı üzerinde tepe akımının etken faktör olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde AISI 316L üzerinde tungsten tel malzeme kullanılarak yapılan kesme işleminde voltaj ve akımın talaş kaldırma oranına etkileri sunulmuştur (Singh ve ark., 2017). Aynı malzeme üzerinde yapılan bir diğer çalışmada ise bombardıman zamanı, tepe akımı, servo voltajı ve tel gerilmesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre bombardıman zamanı diğer parametrelerle kıyaslanınca yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Prathipati ve ark., 2020). Başka bir çalışmanın konusu ise AISI 316L çeliğinin tel erozyonla kesme işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğüne bombardıman süresi, bekleme süresi ve voltaj parametrelerinin etkilerinin Taguchi yöntemiyle incelenmesi olmuştur (Babu ve ark., 2018). Bu araştırmadan elde edilen bulgular sonucunda bombardıman süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna ilaveten, lazer eritme ve döküm ile elde edilen AISI 316L çeliğinin yüzey pürüzlülükleri üzerindeki tepe akımı etkileri araştırmacılar tarafından karşılaştırılmıştır (Machno ve ark., 2022). AISI 316L çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma çıktılarının incelendiği güncel bir çalışmada ise, düşük hızlardaki tel ilerleme oranı, voltaj,

bombardıman süresi, bekleme süresi ve tepe akım değerleri Taguchi ve gri ilişki analiz yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır (Soota ve Rajput, 2022). Bu çalışma sonuçlarına göre işlem parametrelerinin yüzey pürüzlüğüne etkileri sırasıyla tel ilerleme oranı, tepe akımı, bombardıman süresi, voltaj ve bekleme süresi olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, araştırmacılar düşük ilerleme çalışma koşullarında bombardıman süre ve tepe akımındaki artışların yüzey kalitesini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

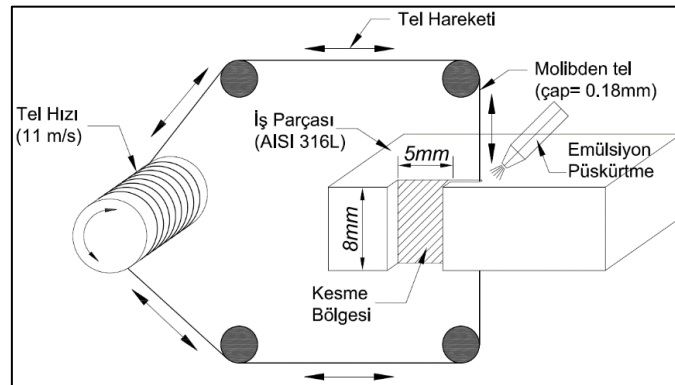
Literatürde, işlenmesi zor malzemeler ve daha spesifik olarak kimya, sağlık, nükleer, elektronik vb. birçok endüstride tercih edilen AISI 316L çeliğinin tel erozyonla işleme parametreleri detaylandırılmıştır. Ancak üretim süresinin kısaltılması ve yüzey kalitesinin artırılması için kritik rol oynayan yüksek ilerleme oranı ve bekleme sürelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmemiştir. Üretim süresinin kısaltılması ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılması sürdürülebilir bir seri imalatın anahtar faktörlerindedir. Bu sebeple, bu çalışmada 3 farklı seviyedeki bombardıman süresi ve bekleme sürelerinin yine 3 farklı ilerleme oranında yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve deney sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada iş parçası olarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Tablo 1’de iş parçası olarak kullanılan AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi verilmiştir. İş parçasına uygulanmış bir ısıl işlem bulunmamaktadır. Deneyler, Hightech DK-7732 CNC WEDM tezgahında yapılmıştır. Kesici tel olarak 0,18 mm Guangming Molibden alaşım tel, yalıtkan sıvı olarak saf su ve JR3A Ointment Coolant, 1/30-40 (kg/kg) (JR3A/pure water) oranında emülsiyonu kullanılmıştır. Molibden tel kullanan tezgahlarda tel bir tambura sarılı olarak devamlı kullanılır. Tel hızı 11 m/s, yalıtkan emülsiyon sirkülasyon basıncı ise 1 bar seviyesinde sabit olarak uygulanmıştır. Deneysel kurulum şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. AISI 316L alaşımın kimyasal bileşimi

| % Ağırlık | Ana | C | Si | Mn | S | P | Cr | Mo | Ni |
|-----------|-----|------|----|----|------|------|-------|-----|-------|
| AISI 316L | Fe | 0,30 | 1 | 2 | 0,03 | 0,05 | 16-18 | 2-3 | 10-14 |



Şekil 1. Deneysel süreç şeması

Deneyisel olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile optimum kesme parametrelerinin anlaşılması mümkündür. Ancak, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki davranışlarının detaylı bir şekilde tespit edilebilmesi ve en etkin kesme parametresinin belirlenmesi için varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. İstatistiksel veri analizi, Minitab® R19 yazılımı ile yapılmıştır. Deneyler ve veri analizleri, tam faktöriyel deney düzeni ile gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri ve bağımsız kontrol faktörleri olarak ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süresi seçilmiştir. Her faktör için üç seviye belirlenmiştir (Tablo 2). Veri analizleri ile kontrol faktörleri ve seviyelerinin çıktı (yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkinlik seviyeleri tespit edilmiştir. Regresyon analizleri ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ampirik bir matematiksel model ile tanımlanmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surfest SJ-210 cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler, ISO 4288 standardına göre yapılmış olup kesim uzunluğu (λ_c) 0,8 mm ve travers uzunluğu (L_t) 5,6 mm seçilmiştir.

Tablo 2. Kontrol faktörleri, seviyeler ve çıktılar

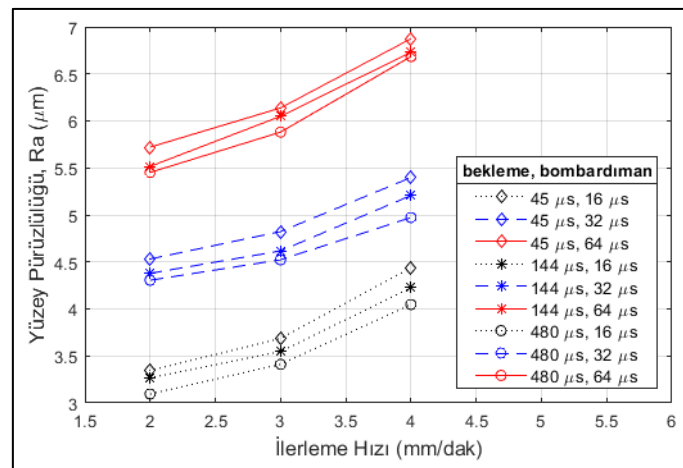
| Faktörler | İlerleme Hızı (mm/dk) | Bombardıman Süresi (μs) | Bekleme Süresi (μs) |
|------------------|------------------------------|---|---|
| Seviye 1 | 2 | 16 | 45 |
| Seviye 2 | 3 | 32 | 144 |
| Seviye 3 | 4 | 64 | 480 |
| Çıktılar | Yüzey Pürüzlülüğü (μ m) | | |

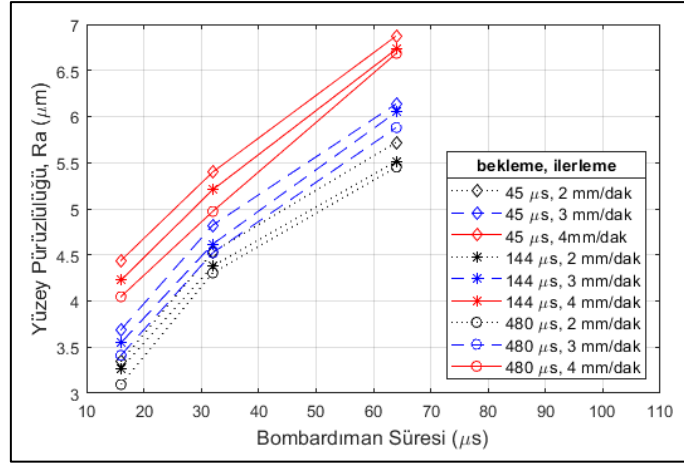
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimleri ilerleme hızı için Şekil 2’de, bombardıman süresi için Şekil 3’te ve bekleme süresi için ise Şekil 4’te gösterilmiştir. Tam faktöriyel deney düzeni ve elde edilen bulgular Tablo 3’te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, ilerleme hızı artışının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmektedir. İlerleme hızının artışı ile tel ve iş parçası arasındaki etkileşim süresi azalır. Bu durum sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür. Şekil 3 incelendiğinde, elektron bombardıman süresi artışının yüzey pürüzlülük değerlerinin belirgin bir şekilde artırdığı gözlenmektedir. Bombardıman süresi artışı ile telden iş parçasına doğru elektron akışı artar. Artan elektron bombardımanı sonucunda, iş parçası üzerinde oluşan krater büyüklüğü artar. Bu durum, yüzey kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Azam ve ark., 2016). Şekil 4’te bekleme süresi artışı ile yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Elektron bombardımanları arasındaki bekleme süresi boyunca yalıtkan sıvı, talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırır. Bekleme süresi artışı ile kesme bölgesinin kararlılığı artar ve talaşların uzaklaştırılması kolaylaşır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünü azalmasına neden olur (Sharma ve ark., 2013; Soota ve Rajput, 2022). En düşük yüzey pürüzlülük değeri 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 μ s bombardıman süresi ve 480 μ s bekleme süresi parametrelerinde elde edilmiştir.

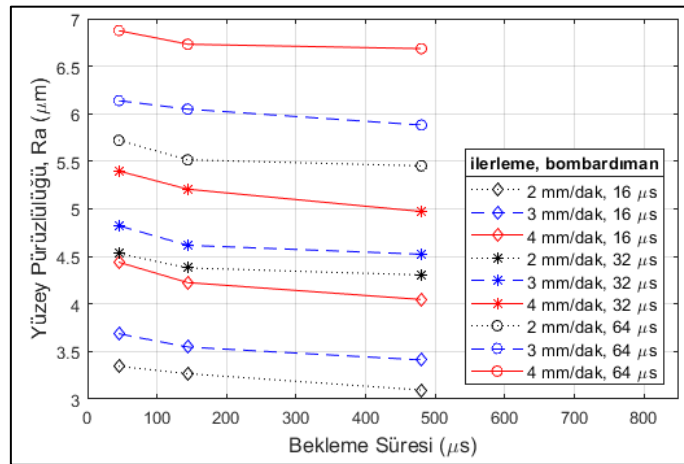
Tablo 3. Deney kurulumu ve sonuçlar

| Deney no | Kesme parametreleri | | | Sonuçlar |
|----------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | İlerleme Hızı (mm/min) | Bombardıman Süresi (μ s) | Bekleme Süresi (μ s) | Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μ m) |
| 1 | 2 | 16 | 45 | 3,345 |
| 2 | 2 | 16 | 144 | 3,267 |
| 3 | 2 | 16 | 480 | 3,095 |
| 4 | 2 | 32 | 45 | 4,531 |
| 5 | 2 | 32 | 144 | 4,379 |
| 6 | 2 | 32 | 480 | 4,305 |
| 7 | 2 | 64 | 45 | 5,721 |
| 8 | 2 | 64 | 144 | 5,516 |
| 9 | 2 | 64 | 480 | 5,452 |
| 10 | 3 | 16 | 45 | 3,687 |
| 11 | 3 | 16 | 144 | 3,547 |
| 12 | 3 | 16 | 480 | 3,411 |
| 13 | 3 | 32 | 45 | 4,823 |
| 14 | 3 | 32 | 144 | 4,617 |
| 15 | 3 | 32 | 480 | 4,523 |
| 16 | 3 | 64 | 45 | 6,138 |
| 17 | 3 | 64 | 144 | 6,049 |
| 18 | 3 | 64 | 480 | 5,881 |
| 19 | 4 | 16 | 45 | 4,439 |
| 20 | 4 | 16 | 144 | 4,225 |
| 21 | 4 | 16 | 480 | 4,047 |
| 22 | 4 | 32 | 45 | 5,398 |
| 23 | 4 | 32 | 144 | 5,207 |
| 24 | 4 | 32 | 480 | 4,972 |
| 25 | 4 | 64 | 45 | 6,875 |
| 26 | 4 | 64 | 144 | 6,731 |
| 27 | 4 | 64 | 480 | 6,685 |

**Şekil 2.** İlerleme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri



Şekil 3. Bombardıman süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri



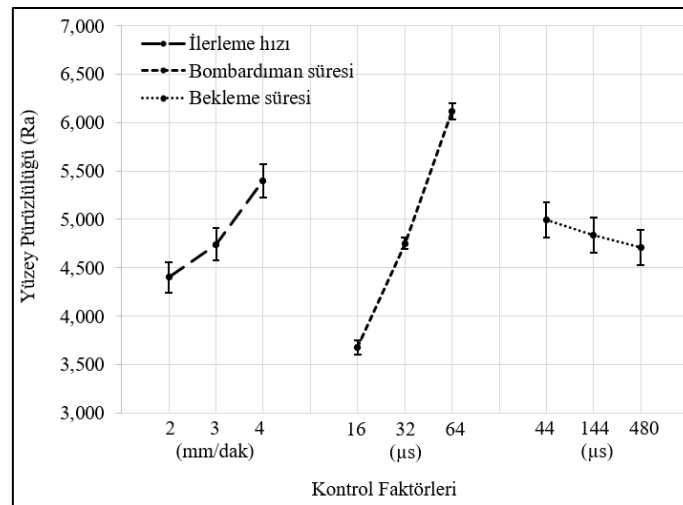
Şekil 4. Bekleme süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimleri

Ölçülen yüzey pürüzlülük bulgularının, bağımsız kontrol faktörleri olarak seçilen ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süresi parametrelerine göre değiştiği kabulü ve %95 güven seviyesi ile varyans ve regresyon veri analizleri yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları ve % etki oranları Tablo 4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, tüm P değerlerinin %5 ($P < 0,05$) oranından küçük çıktığı görülmektedir. Buna ek olarak faktörlerin F değerleri ile kritik F değerleri de karşılaştırılmıştır. Tüm faktörler için 0,05'e eşit anlamlılık veya %95 güven seviyesindeki kritik F değeri ($F_{.05,2,26}$) 3,369'dur. Faktörlerin F değerleri, kritik F değerinden büyük çıkmıştır. Düşük P değerleri ve kritik F değeri karşılaştırması sonucunda kontrol faktörleri ve seviyelerin seçimleri istatistiksel açıdan anlamlı seviyededir (Bolar ve ark., 2018). Yüzey kalitesi açısından en etkili kesme parametresi, %83,96 oranla bombardıman süresi olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Varyans analizleri

| Kaynak (Source) | Serbestlik Derecesi (DF) | Kareler Toplamı (Adj SS) | Kareler Ortalaması (Adj MS) | F değeri | P değeri | Etki (%) (Contribution) |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------|----------|-------------------------|
| Model | 6 | 31,9674 | 5,3279 | 649,6 | 0,000 | 99,49 |
| Lineer | 6 | 31,9674 | 5,3279 | 649,6 | 0,000 | 99,49 |
| İlerleme hızı, mm/dk | 2 | 4,6172 | 2,3086 | 281,47 | 0,000 | 14,37 |
| Bombardıman süresi, μ s | 2 | 26,9775 | 13,4888 | 1644,6 | 0,000 | 83,96 |
| Bekleme süresi, μ s | 2 | 0,3727 | 0,1863 | 22,72 | 0,000 | 1,16 |
| Hata | 20 | 0,164 | 0,0082 | | | 0,51 |
| Toplam | 26 | 32,1315 | | | | 100,00 |

Kontrol faktörleri değişiminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki yarattığı davranışın belirgin olarak görülebilmesi için etki grafiği çizilmiştir (Şekil 5). Grafikte, tüm faktör ve seviyeler için yüzey pürüzlülük değerleri ve standart hata barları verilmiştir. Etki grafiği incelendiğinde, ilerleme hızı ve bombardıman süresi artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı, bekleme süresi artışı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, deneysel bulgular ile uyum göstermektedir. Grafikte, standart hata değerleri incelendiğinde ise ilerleme hızı ve bombardıman süresi faktörlerinin bütün seviyeleri için bağımsız etki alanları elde edilmiştir. Bekleme süresinin tüm seviyelerinde hata değerlerinde çakışma mevcuttur. Bu durum deneysel bulgularda da görüldü gibi, bekleme süresi faktörünün yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin belirgin olmadığını göstermektedir. Tablo 5'te regresyon analizi sonucu elde edilen model özeti gösterilmiştir. Belirlilik katsayıları (R^2) incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü modelinin deneysel sonuçlar ile %99,34 oranında uyumlu olduğu görülmektedir. Regresyon analizi sonucu elde edilen ampirik matematiksel modeli Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Yüzey pürüzlülüğü açısından etki grafiği

Tablo 5. Model özeti

| S | R ² | R ² (adj) | R ² (pred) |
|----------|----------------|----------------------|-----------------------|
| 0,090564 | 99,49% | 99,34% | 99,07% |

Yüzey Pürüzlülüğü

$$\begin{aligned} &= 4,8469 - (0,4457 \times \text{İlerleme hızı}_1) - (0,1051 \times \text{İlerleme hızı}_2) \\ &+ (0,5508 \times \text{İlerleme hızı}_3) - (1,1732 \times \text{Bombardıman süresi}_1) \\ &- (0,0963 \times \text{Bombardıman süresi}_2) + (1,2696 \\ &\times \text{Bombardıman süresi}_3) + (0,1483 \times \text{Bekleme süresi}_1) - (0,0093 \\ &\times \text{Bekleme süresi}_2) - (0,1390 \times \text{Bekleme süresi}_3) \end{aligned} \quad (1)$$

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çelik alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenerek, farklı kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri araştırılmıştır. Bu kapsam dahilinde, farklı ilerleme hızı, bombardıman süresi ve bekleme süre parametreleri seçilerek tam faktöriyel deneysel çalışma ve istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir:

- Yüzey pürüzlülüğü açısından; ilerleme hızı ve bombardıman süresi arttıkça ve bekleme süresi azaldıkça pürüzlülük değerlerinde artış gözlenmiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülük değeri, 2 mm/dk ilerleme hızı, 16 µs bombardıman süresi ve 480 µs bekleme süresi parametrelerinde elde edilmiştir.
- Varyans analizleri açısından; yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkin kesme parametresinin %83,96 oranla bombardıman süresi olduğu anlaşılmıştır.
- Regresyon analizleri açısından; modelin belirlilik katsayısı %99,34 oranında elde edilmiştir. Bu oran ile kurulan istatistiksel modelin ve deneysel bulguların birbirleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, işlenmesi zor malzemeler grubunda bulunan AISI 316L alaşımın tel erozyon yöntemi ile işlenmesinde, üretim süresini uzatmadan yüzey kalitesinin artırmak amacıyla farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

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

- Aydın K., Uğur L., Güvercin S., Gül F. Investigation of the machining performance of ferritic ductile cast Iron in WEDM using response surface methodology. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 2022; 40(1): 95-107.
- Azam M., Jahanzaib M., Abbasi JA., Wasim A. Modeling of cutting speed (CS) for HSLA steel in wire electrical discharge machining (WEDM) using moly wire. *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 2016; 39(7): 802-808.
- Babu RR., Subhair S., Siva S. Optimization of process parameter in WEDM for Stainless Steel 316 by Using Taguchi Method. *International Journal of Engineering Research & Technology* 2018; 7(9): 188-192.
- Bolar G., Das A., Joshi SN. Measurement and analysis of cutting force and product surface quality during end-milling of thin-wall components. *Measurement* 2018; 121: 190-204.
- Cebeci İ., Özlü B., Demir H. AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzemenin lazerle kesilmesinde kesme parametrelerinin kesim kalitesine etkisinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2020; 10(4): 2791-2799.
- Chiang KT., Chang FP., Tsai DC. Modeling and analysis of the rapidly resolidified layer of SG cast iron in the EDM process through the response surface methodology. *Journal of Materials Processing Technology* 2007; 182(1-3): 525-533.
- Eksilmez N., Özlü B., Demir H. Hardox 500 Çeliğinin lazerle işlenmesinde kesme geometrisine ve işleme parametrelerine bağlı kesim kalitesinin değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1): 301-314.
- Esme U., Kulekci MK., Akkurt A., Seker U., Ozkul I. Mathematical modeling of diameter and circularity deviation in wire electrical discharge machining of a hot work tool steel. *Materials Testing* 2013; 55(6): 472-477.
- 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.
- Koklu U. Optimization of kerf and surface roughness of AL 7 475-T 7 351 alloy machined with WEDM process using the grey-based Taguchi method. *Metalurgija/Metallurgy* 2012; 51(1): 47-50.
- Li L., Guo Y., Wei X., Li W. Surface integrity characteristics in wire-EDM of Inconel 718 at different discharge energy. *Procedia CirP* 2013; 6: 220-225.
- Machno M., Franczyk E., Bogucki R., Matras A., Zebala W. A comparative study on the structure and quality of SLM and Cast AISI 316L samples subjected to WEDM processing. *Materials* 2022; 15(3): 701.
- Marelli D., Singh S., Nagari S., Subbiah R. Optimisation of machining parameters of wire-cut EDM on super alloy materials—A review. *Materials Today: Proceedings* 2020; 26: 1021-1027.

- Özlü B. Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters* 2021; 28(10): 2150093.
- Prathipati R., Dora SP., Chanamala R. Wear behavior of wire electric discharge machined surface of 316L stainless steel. *SN Applied Sciences* 2020; 2(3): 1-8.
- Ramachandra R. Optimization of MRR and SR for AISI 316 Stainless steel material by using RSM Technique in EDM machining. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics* 2017; 6(6): 314-321.
- Sharma N., Khanna R., Gupta R., Multi quality characteristics of WEDM process parameters with RSM. *Procedia Engineering* 2013; 64: 710-719.
- Singh G., Bhui AS., Sidhu SS. Influence of input parameters on MRR of AISI-316L using tungsten electrode machined by EDM. *Редакционная коллегия* 2017: 15.
- Snoeys R., Staelens F., Dekeyser W. Current trends in non-conventional material removal processes. *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 1986; 35(2): 467-480.
- Soota T., Rajput S. Optimization and measurement of kerf width and surface roughness of AISI 316L. *Forces in Mechanics* 2022; 6: 100071.
- Tilekar S., Das SS., Patowari P. Process parameter optimization of wire EDM on Aluminum and mild steel by using Taguchi method. *Procedia Materials Science* 2014; 5: 2577-2584.
- Tosun N., Cogun C., Inan A. The effect of cutting parameters on workpiece surface roughness in wire EDM. *Machining Science and Technology* 2003; 7(2): 209-219.

İspir ve Kızılcahamam Kuru Fasulyesi için Gama Işını Lineer Soğurma Katsayıları ile Transmisyon Faktörlerinin Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Burcu AKÇA^{1*}

¹Department of Medical Services and Techniques, Ardahan Health Services Vocational School, Ardahan University, Ardahan, Turkey.

¹<https://orcid.org/0000-0003-2399-5971>

*Sorumlu yazar: burcuakca@ardahan.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:02.03.2022

Kabul tarihi:05.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Türkiye

IDB

KDB

TF

EDXRFS

ÖZ

Bu çalışmada, Erzurum İspir kuru fasulyesi ve Ankara Kızılcahamam kuru fasulyesi için gama ışını lineer soğurma katsayıları (μ) ve transmisyon faktörleri (TF) ölçülmüştür. Deneyde Am-241 nokta kaynağının 59,54 keV enerjili fotonları, Energy Dispersive X-Ray Floresans Spektrometrisi (EDXRFS) ve bir Si (Li) detektörü kullanılmıştır. Sonuç olarak, Erzurum İspir kuru fasulyesinin ortalama transmisyon faktörünün, Ankara Kızılcahamam kuru fasulyesininkinden daha büyük, ortalama lineer soğurma katsayısının ise daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Ankara Kızılcahamam kuru fasulyesinin, Erzurum İspir kuru fasulyesinden daha fazla gama ışını soğurduğu, yani gama ışınları ile daha fazla etkileşime girdiği anlamına gelmektedir.

An Experimental Study on the Measurement of Gamma-Ray Linear Attenuation Coefficients with Transmission Factors for Ispir and Kızılcahamam Dry Bean

Research Article

Article History:

Received:02.03.2022

Accepted: 05.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Turkey

IDB

KDB

TF

EDXRFS

ABSTRACT

In the present work, the gamma-ray linear attenuation coefficients (μ) and transmission factors (TF) were measured for Erzurum Ispir dry bean (IDB) and Ankara Kızılcahamam dry bean (KDB). Photons of the Am-241 point source with an energy of 59.54 keV, an Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRFS), and a Si (Li) detector were used in the experiment. As a result, it was observed that the average transmission factor of Erzurum Ispir dried beans was higher than that of Ankara Kızılcahamam dry beans, and the average linear attenuation coefficient was smaller. This means that Ankara Kızılcahamam dry beans absorb more gamma rays than Erzurum Ispir dry beans, that is, they interact more with gamma rays.

To Cite: Akça B. İspir ve Kızılcahamam Kuru Fasulyesi için Gama Işını Lineer Soğurma Katsayıları ile Transmisyon Faktörlerinin Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 585-593.

1. Introduction

Dry bean is produced in many countries due to being a cheap protein source, supplying the nutritional needs of the population, providing the livelihood of the rural population, taking place in the traditional culinary cultures of especially Latin American countries, and being subject to international trade. Dry

beans, which have an important place in Turkish cuisine, are consumed at a rate of 24% among legumes. Central Anatolia Region meets the majority of dry bean production in Turkey.

It is also very important to protect the bean, which is an important food source, without spoiling. Foodstuffs can spoil for a variety of reasons (eg. biological, chemical and physical factors). Various food preservation methods have been developed to eliminate the factors that cause spoilage (eg. drying, heat treatment, fermentation, salting, smoking, canning, freezing, refrigerated storage, and chemical treatment). Studies on the development of new methods that reduce losses in food production, extend shelf life, and ensure food safety are continuing. Food irradiation, which is one of the methods that has been studied extensively in recent years, is a method that can meet these expectations and its use is becoming increasingly widespread (Lacroix and Ouattara, 2000; ACSH, 2003; Atasever and Atasever, 2007).

Radioactive materials emit some rays (eg. alpha, beta, gamma, and X-rays) to the environment during the continuous disintegration of their atoms. These rays cause electrically charged ions in the material they hit. These rays are called ionizing rays. Ionized beam; non-ionizing visible light has more energy than television and radio waves and microwaves. Food irradiation; is the treatment of food with ionizing rays, also called ionized energy (WHO 1983; ADA 2000; Lacroix and Ouattara, 2000).

Gamma rays, X-rays, and accelerated electron beams are used in food preservation [Olson, 1998]. Gamma rays are the most widely used in industry (WHO 1983; ADA 2000; Diehl, 1995; Swallow, 1991). Gamma rays are produced from Co^{60} and Cs^{137} . The rays are directly on the food to be irradiated given. But food should never come into direct contact with cobalt or cesium (Swallow, 1991; Diehl, 1995; Lagunas, 1995; Monk et al., 1995; ADA 2000; Lacroix and Ouattara, 2000). While some foods can be irradiated, some foods are not suitable for irradiation due to reasons such as losing their firmness and some important sensory and other quality properties. There is a green radura mark on irradiated packaged foods. Co^{60} and Cs^{137} are high-energy gamma sources. Their dose rates have been quite large compared to the gamma source in our study. No matter how innocent food irradiation is, it raises doubts about the effects of ionizing radiation on DNA are taken into account.

Cross sections, attenuation, and scattering coefficients play an important role in better explaining the absorption and scattering phenomena that occur as a result of the interaction of matter and electromagnetic radiation. Gamma-ray transmission factors and linear attenuation coefficients are measured to determine the level of gamma-ray and matter interaction and to obtain information at the atomic and molecular level of the material. These measurements appear in important application areas such as industrial, biological, and agricultural applications, dosimetry, radiography, and computed tomography. They are used in many processes such as multi-phase flow composition measurements in oil wells, thickness measurements for aluminum and steel production, bone density measurements, and soil density determination (Moss et al., 2013).

This study aims to determine how much radiation dry beans absorb as a result of their interaction with low-energy gamma rays. Thus, it will be observed how much radiation is left in the food and how much has passed. In other words, the rate of interaction with gamma rays will be investigated.

2. Material and Method

2.1. Theoretical Basis

The μ (cm^{-1}) can be derived from the Lambert-Beer law;

$$\mu = \left[\frac{\ln(I_0/I)}{t} \right] \quad (1)$$

where I_0 and I are the unattenuated and attenuated photon intensities, respectively, and t (cm) is the thickness of the material. The (TF) for material is determined as follows (Turhan et al., 2020):

$$TF = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (2)$$

2.2. Experimental Basis

In the experiment, first of all, narrow beam geometry or experimental setup was created using collimators. Thus, the beam is provided to follow a parallel path. The experimental setup used is shown in Figure. 1. Gamma-rays of Am-241 (100 mCi) point source were detected by using a high-resolution Si(Li) detector and Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRFS). The data were collected into 4096 channels of a multichannel analyzer and the spectra were collected for 5400 s. The thickness of the samples is in the range of 5.72-8.82 mm. The typical spectra of 59.54 keV gamma-ray transmissions through KDB-2 are shown in Figure 2. Experimental errors are attributed to the deviation from the average value in the I and I_0 (<0.9%), sample thickness (<0.5%), the mass of the sample (<0.8%), and systematic errors (<1%).

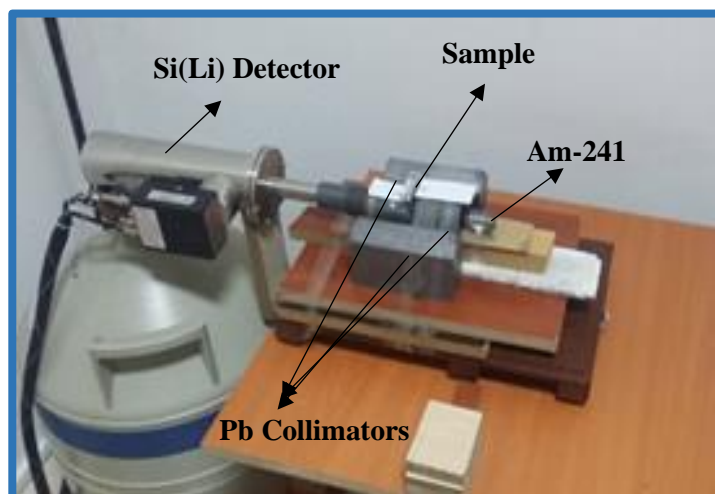


Figure 1. Experimental setup

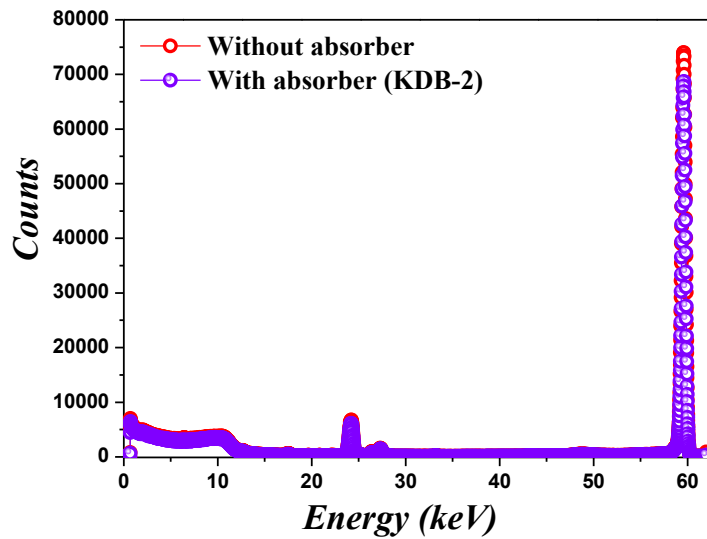


Figure 2. A typical spectrum for KDB-2

3. Results and Discussion

The TF, μ , and standard error values ($\pm \sigma_{\bar{x}}$) for IDB and KDB are given in Table 1. Transmission factors and linear attenuation coefficients for IDB and KDB are shown in Figures 3-4. Ten samples were randomly selected from both dry beans. Samples are numbered sequentially for graphs and tables.

Table 1. The TF, μ , and $\sigma_{\bar{x}}$ values for IDB and KDB

| <i>SAMPLES</i> | <i>TF</i> | μ (cm ⁻¹) |
|----------------|------------------|---------------------------|
| IDB | | |
| IDB-1 | 86.51555±0.40865 | 0.19210±0.00651 |
| IDB-2 | 87.78976±0.27433 | 0.15959±0.00308 |
| IDB-3 | 88.15452±0.23588 | 0.16546±0.00370 |
| IDB-4 | 89.41329±0.10320 | 0.12687±0.00037 |
| IDB-5 | 90.63398±0.02548 | 0.12906±0.00014 |
| IDB-6 | 91.02792±0.06700 | 0.14200±0.00123 |
| IDB-7 | 88.64612±0.18406 | 0.13981±0.00100 |
| IDB-8 | 95.26803±0.51395 | 0.06345±0.00705 |
| IDB-9 | 95.33851±0.52138 | 0.06167±0.00724 |
| IDB-10 | 91.13528±0.07832 | 0.12344±0.00073 |
| KDB | | |
| KDB-1 | 85.60381±0.46154 | 0.20781±0.00548 |
| KDB-2 | 92.77067±0.29391 | 0.13119±0.00260 |
| KDB-3 | 94.71292±0.49864 | 0.08733±0.00722 |
| KDB-4 | 93.26606±0.34613 | 0.10074±0.00581 |
| KDB-5 | 92.59606±0.27550 | 0.11279±0.00454 |
| KDB-6 | 88.77464±0.12731 | 0.17207±0.00171 |
| KDB-7 | 86.80039±0.33541 | 0.21712±0.00646 |
| KDB-8 | 89.53528±0.04713 | 0.17829±0.00237 |
| KDB-9 | 88.88377±0.11581 | 0.16644±0.00112 |
| KDB-10 | 86.88046±0.32697 | 0.18456±0.00303 |

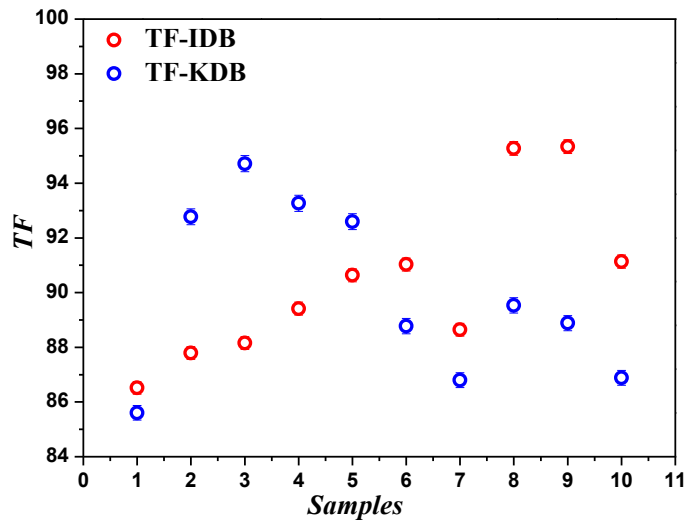


Figure 3. Gamma-rays Transmission factors versus samples

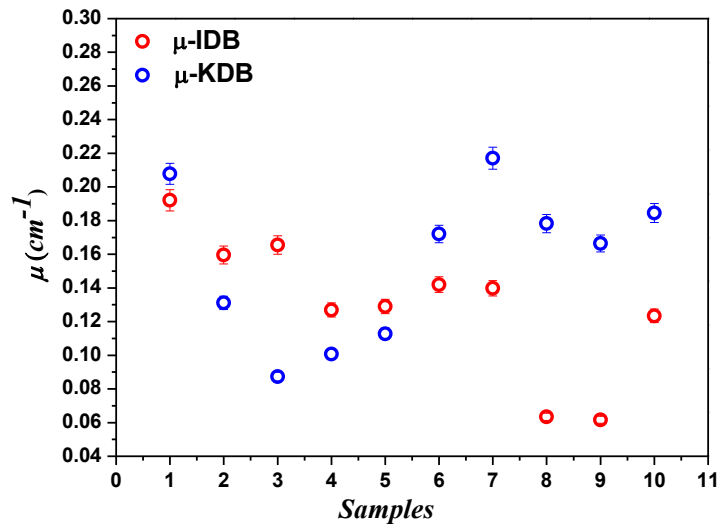


Figure 4. Gamma-rays Linear attenuation coefficients versus samples

When Table 1 and Figures 3-4 are examined, it is seen that TF and μ values for IDB and KDB are close. The average TF and μ values are 90.39230 and 0.13035 cm^{-1} for IDB and 89.98241 and 0.15583 cm^{-1} for KDB, respectively. KDB has absorbed about 11% of gamma-ray and passed 89%, while IDB has absorbed about 10% and passed 90%. According to these results, KDB is more absorbent. In other words, it interacted more with gamma rays. When exposed to gamma-ray treatment, KDB will contain more gamma rays. In a similar study by (Ghosh and Das, 2014), the linear attenuation coefficients of different varieties of potato (Kufri Chandramukhi, Kufri Jyoti, and Kufri Sindhuri), mango (Himsagar, Langra, Dashehri, and Fazli) and prawn (Tiger prawn and Freshwater prawn) at different storage

times and physiological stages at 2.5 MeV gamma energy were determined. Linear attenuation coefficient values were measured between 0.035-0.079 cm⁻¹. The lowest value of the linear attenuation coefficient was obtained in the Kufri Sindhuri variety of the potato, it received its greatest value in the Fazli variety of mango. As the linear attenuation coefficient decreases, the absorption decreases, and the transmission increases. It has also been confirmed by (Ghosh and Das, 2014) that a significant portion of the food absorbs when interacting with gamma rays. It is thought-provoking that gamma rays cause such changes in food. Food has not become radioactive by this interaction. But it has interacted with radiation and absorbed it. In addition, studies have shown that irradiation causes changes in protein, fat, carbohydrate, and vitamin values in food (Ayhan, 1992; Villavicencio et al., 2000; Karadag and Gunes, 2005; Abdelwhab et al., 2009; Mudibu et al., 2012; Sarker et al., 2014; Mirhabibi et al., 2016; Yilmaz and Ulger, 2016; Vahapoglu et al., 2022). In the study conducted by (Abdelwhab et al., 2009), it was determined that there were changes in the protein, fat, carbohydrate, fiber, mineral, and vitamin values of irradiated dry beans. Similar determinations have been shown in different studies for products such as soybean, cowpea, and corn (Villavicencio et al., 2000; Mudibu et al., 2012; Sarker et al., 2014; Mirhabibi et al., 2016; Vahapoglu et al., 2022). The occurrence of such changes in food and the use of irradiation for mutation purposes in plant breeding studies are proof that the effect of gamma rays cannot be neglected (Well et al., 2022; Yasmin and Arulbalachandran, 2022). When genetically modified organisms (GMO) are considered, irradiation has the effect of disrupting the original structure of the product or organism, just like GMO processes.

Although food irradiation is considered suitable for food preservation, it needs more research in terms of the health of living things (Wen-Chieh, 2005; Atasever and Atasever, 2007; Demirci and Güner, 2008; Oguzhan, 2013; Durmaz and Sancak, 2014; Akakce and Cam, 2019; Mshelia et al., 2022). Because no matter how important food preservation is, a result that will not be beneficial for a living thing makes no sense. While evaluating food irradiation, the radiation dose is taken into account, but the amount of radiation absorption of the product is also very important. The main theme in this study is not food irradiation, but investigating how much food interacts with gamma rays. In this respect, only this interaction has been tried to be demonstrated by using a low-energy gamma source. Considering that the low-energy gamma will be less penetrating than the high-energy (for food irradiation), it is not difficult to estimate how large the interference in the radiation will be. In this study, considering the result that dry beans interact with gamma rays and absorb at least 10%, food irradiation is not a suitable process in terms health of living things.

3. Conclusions

In this study, the interaction with beans (legumes) was demonstrated using low-energy gammas. Very high-energy gamma rays are used in food irradiation. That is, when we talk about such interaction even with low energy ionized beam, we can say that this interaction can be big at high energy. As a result, in a substance exposed to ionizing radiation, some of the rays will remain in the substance. This

is the result of interaction with ionizing radiation. As such, although it is claimed that food irradiation with ionizing radiation is safe, we can say that the amount of radiation absorption should be taken into account and the issue should be investigated further in terms of its effects on the health of living things.

Acknowledgments

The author thanks Dear Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU and Erzurum Atatürk University Science Faculty Physics Department for the research support of the study.

Statement of Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Abdelwhab NM., Abdel Azim AM., Fageer ASM. The nutritive and functional properties of dry bean (*phaseolus vulgaris*) as affected by gamma irradiation. *Pakistan Journal of Nutrition* 2009; 8 (11): 1739-1742.
- ADA. Position of the American Dietetic Association: Food Irradiation. *ADA Reports*. February 2000; 100: 246-252.
- Akakce N., Cam FN. Bir gıda koruma yöntemi: ışınlama. *Çukurova J. Agric. Food Sci.* 2019; 34(2): 207-221.
- American Council on Science and Health (ACSH) (2003). "http://www.acsh.org/docLib/20040331_irrad%20iated.pdf".
- Atasever AM., Atasever M. Usage of irradiation for food technology. *Atatürk University Journal of Veterinary Sciences* 2007; 2(3): 107-116.
- Ayhan H. Işınlanmış gıdaların teşhisi. *Gıda* 1992; 17(2): 151-160.
- Mshelia RDz., Dibal NI., Chiroma SM. Food irradiation: an effective but underutilized technique for food preservations. *J Food Sci Technol* 2022; <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05564-4>.
- Demirci SD., Güner KG. Isınlama ve gıda güvenliği. *Türkiye 10. Gıda Kongresi* 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Diehl JF. *Safety of Irradiated Foods*. 2 nded.,464 p, NewYork 1995.
- Durmaz H., Sancak H. Gıda teknolojisinde ışınlamanın yeri ve önemi. *Harran Üniv Vet Fak Derg* 2014; 3(1): 33-41.

- Ghosh S., Das MK. Attenuation coefficients and absorbed gamma radiation energy of different varieties of potato, mango, and prawn at different storage time and physiological conditions. *Food Chemistry* 2014; 145: 694-700.
- Karadag A., Günes G. Gama ışınlarının gıdaların besin değeri üzerindeki etkileri. *Dünya Gıda* 2005; 9: 55-60.
- Lacroix M., Ouattara B. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products — a review. *Food Research International* 2000; 33: 719-724.
- Lagunas-Solar, MC. Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status. *Journal of Food Protection* 1995; 58: 186-192.
- Mirhabibi M., Mirzaei MAV., Askari MB., Tikdari M. Studying the effect of gamma-ray on morphological and phenotypic properties of corn. *Greener Journal of Physics and Natural Sciences* 2016; 3 (1): 001-008.
- Monk JD., Beuchat LR., Doyle MP. Irradiation inactivation of food-microorganisms. *Journal of Food Protection* 1995; 58: 197-208.
- Moss CE., Favalli A., Goda JM., Ianakiev KD., Lombardi M., McCluskey CW., Paffett MT., Swinhoe MT. New technology for transmission measurements in process pipes. *Applied Radiation and Isotopes* 2013; 72: 89-95.
- Mudibu J., Nkongolo KKC., Kalonji-Mbuyi A., Kizungu RV. Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of soybeans (*glycine max l.*). *American Journal of Plant Sciences* 2012; 3: 331-337.
- Oguzhan P. Su ürünlerinde ışınlama teknolojisi. *Journal of Food and Feed Science* 2013; 13: 51-57.
- Olson DG. Scientific status summary, irradiation of food. A Publication of the IFT Expert Panel on Food Safety and Irradiation. *Food Technology* 1998; 52: 56-62.
- Sarker S., Rahman MS., Islam MR., Hasna S., Islam MS. Effect of gamma radiation on morpho-physiological characters of soybean. *J. Environ. Sci. & Natural Resources* 2014; 7(2): 25–30.
- Swallow AJ. Wholesomeness and safety of irradiated foods. In: Friedman M, ed. *Nutritional and Toxicological Consequences of Food Processing*. New York, NY: Plenum Press 1991; 11-31.
- Turhan MF., Akman F., Polat H., Kaçal MR., Demirkol İ. Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites. *Progress in Nuclear Energy* 2020; 129: 103504.
- Vahapoglu B., Kılıcoglu O., Cebi N., Ayseli MT., Kara Ü., Sagdic O., Capanoglu E. Investigating the effect of gamma-ray interaction on the stability and physicochemical properties of turmeric and ginger using Monte Carlo simulation. *Radiation Physics and Chemistry* 2022; 201: 110413.
- Villavicencio ALCH., Mancini FJ., Delincee H., Greiner R. Effect of irradiation on anti-nutrients (total phenolics, tannins, and phytate) in Brazilian beans. *Radiation Physics and Chemistry* 2000; 57(3-6): 289-293.
- Well VE., Booyse M., Fossey A. Effect of gamma irradiation on nucleolar activity in root tip cells of tetraploid *Triticum turgidum ssp. durum L.* *Protoplasma* 2022; 259: 453–468.

- Wen-Chieh S. Effect of gamma irradiation on rice and its food products. *Radiation Physics and Chemistry* 2005; 73: 224–228.
- World Health Organisation (WHO) (1983). “<http://www.euro.who.int/document.pdf>”.
- Yasmin K., Arulbalachandran D. Gamma irradiation effects on crop plants. *Research Journal of Biotechnology* 2022; 17(8): 126-135.
- Yılmaz HÖ., Ülger TG. Gıda ışınlanmanın besinlere etkisi. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi* 2016; (1-2-3): 1-16.



Biperiodic Fibonacci ve Lucas Sayılarını İçeren Gaussian Quaternionlar

Hasan GÖKBAŞ^{1*}

¹Bitlis EREN Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 13000, Bitlis, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3323-8205>

*Corresponding author's e-mail: hgokbas@beu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.05.2022

Kabul tarihi: 16.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Quaternion

Gaussian quaternion

Bi-periodic Fibonacci and Lucas sayıları

ÖZ

Bu çalışmada, biperiodic Fibonacci ve Lucas sayılarının, biperiodic Fibonacci ve Lucas Gaussian quaternionlar olarak isimlendirilen yeni bir tipi tanımlanmıştır. Çalışma içerisinde, negabiperiodic Fibonacci ve Lucas Gaussian quaternionlarla biperiodic Fibonacci ve Lucas Gaussian quaternionlar arasındaki ilişkiden de bahsedilmiştir. Ayrıca, bu sayılar için Binet formülü, dizinin genelleştirme fonksiyonu, d'Ocagne eşitliği, Catalan eşitliği, Cassini eşitliği, like-Tagiuri eşitliği, Honberger eşitliği ve bazı toplam formülleri verilmiştir. Bi-periodic Fibonacci ve Lucas Gaussian quaternionların bazı cebirsel özellikleri ele alınmıştır.

Gaussian Quaternions Including Biperiodic Fibonacci and Lucas Numbers

Research Article

Article History:

Received: 17.05.2022

Accepted: 16.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Quaternion

Gaussian quaternion

Bi-periodic Fibonacci and Lucas numbers

ABSTRACT

In this study, we define a new type of biperiodic Fibonacci and Lucas numbers which are called biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions. We also give the relationship between negabiperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions and biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions. Moreover, Binet's formula, generating function, d'Ocagne's identity, Catalan's identity, Cassini's identity, like-Tagiuri's identity, Honberger's identity and some formulas for these new type numbers are obtained. Some algebraic properties of biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions which are connected between Gaussian quaternions and biperiodic Fibonacci and Lucas numbers are investigated.

To Cite: Gökbaş H. Biperiodic Fibonacci ve Lucas Sayılarını İçeren Gaussian Quaternionlar. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 594-604.

1. Introduction

Fibonacci sequence has pleased science lovers alike for centuries with their interesting aspect. Pisa has not even guess that the number sequences would be so adventurous with the rabbit problem. The Fibonacci numbers are found in most fields of mathematics. They also occur in variety of other fields such as computer sciences, physics, finance, architecture, geostatics, art, color image processing and music. There have been many works in literature about this special number sequence. There are many generalizations on this

sequence some of which can be seen in (Horadam, 1961; Pand, 1968; George, 1969; Pethe and Phadte, 1992; Falcon and Plaza, 2007; Gökbaşı, 2021).

The biperiodic Fibonacci sequence is also within generalized Fibonacci sequences. This sequence was defined by Edson and Yayenie (Edson and Yayenie, 2009). For $0 \leq n \in \mathbb{N}$ and $0 \neq a, b \in \mathbb{R}$, the bi-periodic Fibonacci sequence is

$$F_n = \begin{cases} aF_{n-1} + F_{n-2}, & \text{if } n \text{ is even, } n \geq 2 \\ bF_{n-1} + F_{n-2}, & \text{if } n \text{ is odd, } n \geq 2 \end{cases}$$

with initial conditions $F_0 = 0, F_1 = 1$. They also investigated the generating function for biperiodic Fibonacci sequence as

$$f(t) = \frac{t(1 + at - t^2)}{1 - (ab + 2)t^2 + 4t^4}.$$

From the round-down function definition ($\lfloor \alpha \rfloor$), they obtained the Binet's formula of the biperiodic Fibonacci sequence as

$$PF_n = \frac{a^{1-\varepsilon(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \left(\frac{\gamma^n - \delta^n}{\gamma - \delta} \right)$$

where $\lfloor \alpha \rfloor$ is the floor function of a , $\varepsilon(m) = m - 2 \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$ is the parity function, γ and δ given by

$$\gamma = \frac{ab + \sqrt{a^2b^2 + 4ab}}{2}, \delta = \frac{ab - \sqrt{a^2b^2 + 4ab}}{2}, \gamma + \delta = ab \text{ and } \gamma\delta = -ab$$

are the roots of the equation

$$x^2 - abx - ab = 0.$$

The biperiodic Fibonacci number with negative subscripted is given by

$$PF_{-n} = (-1)^{n+1} PF_n.$$

D'Ocagne's, Catalan's, Cassini's identities and some related summation formulas were given by them (Edson and Yayenie, 2009). Also, (Bilgici, 2014), for any $n \geq 0$ and $0 \neq a, b \in \mathbb{R}$, the biperiodic Lucas sequence is

$$L_n = \begin{cases} bL_{n-1} + L_{n-2}, & \text{if } n \text{ is even, } n \geq 2 \\ aL_{n-1} + L_{n-2}, & \text{if } n \text{ is odd, } n \geq 2 \end{cases}$$

with initial conditions $L_0 = 2, L_1 = a$. The generating function for biperiodic Lucas sequence as

$$l(t) = \frac{at(1 + bt - t^2) + 2(1 - (1 + ab)t^2 + at^3)}{1 - (ab + 2)t^2 + t^4}.$$

The Binet's formula of the biperiodic Lucas sequence as

$$PL_n = \frac{a^{\varepsilon(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\gamma^n + \delta^n)$$

where $\lfloor \alpha \rfloor$ is the floor function of a , $\varepsilon(m) = m - 2 \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$ is the parity function, γ and δ given by

$$\gamma = \frac{ab + \sqrt{a^2b^2 + 4ab}}{2}, \delta = \frac{ab - \sqrt{a^2b^2 + 4ab}}{2}, \gamma + \delta = ab \text{ and } \gamma\delta = -ab$$

are the roots of the equation

$$x^2 - abx - ab = 0.$$

The biperiodic Lucas number with negative subscripted is given by

$$PL_{-n} = (-1)^n PL_n.$$

In applied and theoretical sciences, quaternions have growing interest and they are also good at representing rotations in three-dimensional space. Also it has applications in areas such as super string theory, projective geometry, topology, and Jordan algebras (Adler, 1994; Ward, 1997; Baez, 2001).

The quaternion algebra

$$Q = \left\{ \sum_{k=0}^3 a_k e_k : a_k \in \mathbb{R} \right\}$$

is a four dimensional non-commutative vector space over \mathbb{R} and the basis satisfy the following multiplication rules:

$$e_k^2 = -1, k \in \{1, 2, 3\},$$

$$e_1 e_2 = -e_2 e_1 = e_3, e_2 e_3 = -e_3 e_2 = e_1 \text{ and } e_3 e_1 = -e_1 e_3 = e_2.$$

e_0 can be identified with real number 1. There are some studies on varied types of sequences over quaternion algebra (Horadam, 1963; Ramirez, 2015; Çimen and İpek, 2016). Harman, called Gaussian numbers, gave an supplementation of Fibonacci numbers into the complex plane and generalized the methods by Horadam (Harman, 1981)

$$GF_n = F_n + iF_{n-1}.$$

2. The Gaussian Quaternions biperiodic Fibonacci and Lucas

In the following sections, the biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions will be defined. In this section, a variety of algebraic properties of both the bicomplex quaternions and the biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions and the negabiperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions are presented in a unified manner. Some identities will be given for biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions such as Binet's formula, generating function formula, d'Ocagne's, Catalan's, Cassini's, Honsberger's, like-Tagiuri's identities and some formulas.

Definition 1: For $n \geq 3$, the biperiodic Fibonacci Gaussian quaternions PGF_n are defined by the recurrence relation

$$PGF_n = \sum_{k=0}^3 PF_{n-k} e_k$$

where PF_n is the n th biperiodic Fibonacci number. The biperiodic Fibonacci Gaussian quaternions starting from $n = 0$ can be written as

$$PGF_0 = 0e_0 + 1e_1 - ae_2 + (1 + ab)e_3, PGF_1 = 1e_0 + 0e_1 + 1e_2 - ae_3 \text{ and } PGF_2 = ae_0 + 1e_1 + 0e_2 + 1e_3, \dots$$

$$PGF_n = PGF_{n-1} + PGF_{n-2}$$

is a recurrence relationship in biperiodic Fibonacci Gaussian quaternions.

Definition 2: For $n \geq 1$, the negabiperiodic Fibonacci Gaussian quaternions PGF_{-n} are defined by the recurrence relation

$$PGF_{-n} = \sum_{k=0}^3 (-1)^{n+k+1} PF_{n+k} e_k$$

where PF_n is the n th biperiodic Fibonacci number.

$$PGF_{-n} = PF_{-n}e_0 + PF_{-n-1}e_1 + PF_{-n-2}e_2 + PF_{-n-3}e_3$$

$$PGF_{-n} = PF_{-n}e_0 + PF_{-(n+1)}e_1 + PF_{-(n+2)}e_2 + PF_{-(n+3)}e_3$$

$$PGF_{-n} = (-1)^{n+1}[PF_n e_0 - PF_{n+1}e_1 + PF_{n+2}e_2 - PF_{n+3}e_3]$$

is obtained when the equality is arranged.

Definition 3: For $n \geq 3$, the biperiodic Lucas Gaussian quaternions PLF_n are defined by the recurrence relation

$$PGL_n = \sum_{k=0}^3 PL_{n-k} e_k$$

where PL_n is the n th biperiodic Lucas number. The biperiodic Lucas quaternions starting from $n = 0$ can be written as

$$PGL_0 = 2e_0 - ae_1 + (2 + ab)e_2 - (3a + a^2b)e_3, \quad PGL_1 = ae_0 + 2e_1 - ae_2 + (2 + ab)e_3 \quad \text{and}$$

$$PGL_2 = (2 + ab)e_0 + ae_1 + 2e_2 - ae_3, \dots$$

$$PGL_n = PGL_{n-1} + PGL_{n-2}$$

is a recurrence relationship in biperiodic Lucas quaternions.

Definition 4: For $n \geq 1$, the negabiperiodic Lucas Gaussian quaternions PGL_{-n} are defined by the recurrence relation

$$PGL_{-n} = \sum_{k=0}^3 (-1)^{n+k+1} PL_{n+k} e_k$$

where PL_n is the n th biperiodic Lucas number.

$$PGL_{-n} = PL_{-n}e_0 + PL_{-n-1}e_1 + PL_{-n-2}e_2 + PL_{-n-3}e_3$$

$$PGL_{-n} = PL_{-n}e_0 + PL_{-(n+1)}e_1 + PL_{-(n+2)}e_2 + PL_{-(n+3)}e_3$$

$$PGL_{-n} = (-1)^n[PL_n e_0 - PL_{n+1}e_1 + PL_{n+2}e_2 - PL_{n+3}e_3]$$

is obtained when the equality is arranged.

Theorem 5: (Generating Function Formula) Let PGF_n and PGL_n be the biperiodic Fibonacci Gaussian quaternion and Lucas Gaussian quaternion, respectively. Generating function for these numbers is as follows

$$H(t) = \frac{PGF_0 + (PGF_1 - bPGF_0)t + (a - b)M(t)}{(1 - bt - t^2)}$$

where

$$M(t) = th(t)e_0 + t^2h(t)e_1 + t^3 \left(h(t) + \frac{1}{t} \right) e_2 + t^4 \left(h(t) + \frac{1}{t} \right) e_3,$$

$$h(t) = \sum_{n=1}^{\infty} PF_{2n-1} t^{2n-1} = \frac{t - t^3}{1 - (ab + 2)t^2 + t^4}$$

and PF_n is the n th biperiodic Fibonacci number.

$$H(t) = \frac{PGL_0 + (PGL_1 - aPGL_0)t + (b - a)M(t)}{(1 - at - t^2)}$$

where

$$M(t) = th(t)e_0 + t^2h(t)e_1 + t^3 \left(h(t) - \frac{a}{t} \right) e_2 + t^4 \left(h(t) - \frac{a}{t} \right) e_3,$$

$$h(t) = \sum_{n=1}^{\infty} PL_{2n-1} t^{2n-1} = \frac{a(t + t^3)}{1 - (ab + 2)t^2 + t^4}$$

and PL_n is the n th biperiodic Lucas number.

Proof: Let $H(t)$ be the generating function for biperiodic Fibonacci Gaussian quaternions as

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} PGF_n t^n.$$

Using $H(t)$, $btH(t)$ and $t^2H(t)$, we get the following equations

$$btH(t) = \sum_{n=0}^{\infty} bPGF_n t^{n+1}, \quad t^2H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} PGF_n t^{n+2}. \quad \text{Since } PF_{2n-1} = bPF_{2n-2} + PF_{2n-3},$$

$$PF_{2n} = aPF_{2n-1} + PF_{2n-2} \text{ and } \sum_{n=1}^{\infty} PF_{2n-1} t^{2n-1} = \frac{t-t^3}{1-(ab+2)t^2+t^4},$$

After the necessary calculations, the generating function for biperiodic Fibonacci Gaussian quaternions is obtained as

$$(1 - bt - t^2)H(t) = PGF_0 + (PGF_1 - bPGF_0)t + \sum_{n=2}^{\infty} (PGF_n - bPGF_{n-1} - PGF_{n-2})t^n$$

$$= PGF_0 + (PGF_1 - bPGF_0)t + t(a - b)(\sum_{n=1}^{\infty} f_{2n-1} t^{2n-1})e_0$$

$$+ t^2(a - b)(\sum_{n=1}^{\infty} f_{2n-1} t^{2n-1})e_1 + t^3(a - b)(\sum_{n=0}^{\infty} f_{2n-1} t^{2n-1})e_2$$

$$+ t^4(a - b)(\sum_{n=0}^{\infty} f_{2n-1} t^{2n-1})e_3.$$

$$(1 - bt - t^2)H(t) = PGF_0 + (PGF_1 - bPGF_0)t + t(a - b)h(t)e_0$$

$$+ t^2(a - b)h(t)e_1 + t^2(a - b)(th(t) + 1)e_2$$

$$+ t^3(a - b)(th(t) + 1)e_3.$$

$$H(t) = \frac{PGF_0 + (PGF_1 - bPGF_0)t + (a - b)M(t)}{(1 - bt - t^2)}.$$

Similarly, the generating function for biperiodic Lucas Gaussian quaternions is obtained.

Theorem 6: (Binet's Formula) The Binet's formula for the biperiodic Fibonacci Gaussian quaternion and Lucas Gaussian quaternion PGF_n and PGL_n are

$$PGF_n = \begin{cases} \frac{\gamma^* \gamma^n - \delta^* \delta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)}, & n \text{ is even} \\ \frac{\gamma^{**} \gamma^n - \delta^{**} \delta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)}, & n \text{ is odd} \end{cases}$$

and

$$PGL_n = \begin{cases} \frac{\gamma^{**} \gamma^n + \delta^{**} \delta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}}, & n \text{ is even} \\ \frac{\gamma^* \gamma^n + \delta^* \delta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}}, & n \text{ is odd} \end{cases}$$

where

$$\gamma^* = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{a^{\varepsilon(i+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{i}{2} \rfloor}} \right) \gamma^{-i} e_i, \quad \delta^* = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{a^{\varepsilon(i+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{i}{2} \rfloor}} \right) \delta^{-i} e_i, \quad \gamma^{**} = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{a^{\varepsilon(i)}}{(ab)^{\lfloor \frac{i+1}{2} \rfloor}} \right) \gamma^{-i} e_i \quad \text{and}$$

$$\delta^{**} = \sum_{i=0}^3 \left(\frac{a^{\varepsilon(i)}}{(ab)^{\lfloor \frac{i+1}{2} \rfloor}} \right) \delta^{-i} e_i.$$

Proof: By using the definition of the biperiodic Fibonacci Gaussian quaternion and Lucas Gaussian quaternion, we get the desired result.

Theorem 7: (Catalan's Identity) For $0 \leq p, k \in \mathbb{Z}$, with $p \geq k$, we have

$$PGF_{2(p-k)} PGF_{2(p+k)} - PGF_{2p}^2 = \frac{PF_{2k}}{\gamma(\gamma - \delta)(ab)^k} [\gamma^* \delta^* \delta^{2k} - \delta^* \gamma^* \gamma^{2k}]$$

and

$$PGL_{2(p-k)} PGL_{2(p+k)} - PGL_{2p}^2 = \frac{(\gamma - \delta) PF_{2k}}{a(ab)^{2p-k}} [\delta^{**} \gamma^{**} \gamma^{2k} - \gamma^{**} \delta^{**} \delta^{2k}].$$

Proof:

$$\begin{aligned} PGF_{2(p-k)} PGF_{2(p+k)} - PGF_{2p}^2 &= \left(\frac{\gamma^* \gamma^{2(p-k)} - \delta^* \delta^{2(p-k)}}{(ab)^{\lfloor \frac{2(p-k)}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) \left(\frac{\gamma^* \gamma^{2(p+k)} - \delta^* \delta^{2(p+k)}}{(ab)^{\lfloor \frac{2(p+k)}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) - \left(\frac{\gamma^* \gamma^{2p} - \delta^* \delta^{2p}}{(ab)^{\lfloor \frac{2p}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{(ab)^{2p} (\gamma - \delta)^2} [\gamma^* \delta^* ((\gamma \delta)^{2p} - \gamma^{2p-2k} \delta^{2p-2k}) + \delta^* \gamma^* ((\gamma \delta)^{2p} - \gamma^{2p+2k} \delta^{2p+2k})] \\ &= \frac{1}{(ab)^{2p} (\gamma - \delta)^2} (\gamma \delta)^{2p} \left[\gamma^* \delta^* \left(1 - \frac{\delta^{2k}}{\gamma^{2k}} \right) + \delta^* \gamma^* \left(1 - \frac{\gamma^{2k}}{\delta^{2k}} \right) \right] \\ &= \frac{PF_{2k}}{\gamma(\gamma - \delta)(ab)^k} [\gamma^* \delta^* \delta^{2k} - \delta^* \gamma^* \gamma^{2k}]. \end{aligned}$$

Similarly, we prove that

$$PGL_{2(p-k)} PGL_{2(p+k)} - PGL_{2p}^2 = \frac{(\gamma - \delta) PF_{2k}}{a(ab)^{2p-k}} [\delta^{**} \gamma^{**} \gamma^{2k} - \gamma^{**} \delta^{**} \delta^{2k}].$$

Theorem 8: (Cassini's Identity) For $p \geq 1$, we have

$$PGF_{2(p-1)} PGF_{2(p+1)} - PGF_{2p}^2 = \frac{1}{(\gamma - \delta)(ab)} [\gamma^* \delta^* \delta^2 - \delta^* \gamma^* \gamma^2]$$

and

$$PGL_{2(p-1)}PGL_{2(p+1)} - PGL_{2p}^2 = \frac{(\gamma - \delta)}{(ab)^{2p-1}} [\delta^{**}\gamma^{**}\gamma^2 - \gamma^{**}\delta^{**}\delta^2].$$

Proof: Since Cassini's formula is a special case of Catalan's formula, the proof is seen by taking $k = 1$.

Theorem 9: (d'Ocagne's Identity) For $0 \leq p, k \in \mathbb{Z}$, with $k \geq p$, we have

$$PGF_{2k}PGF_{2(p+1)} - PGF_{2(k+1)}PGF_{2p} = \frac{1}{(ab)^{p+k}(\gamma - \delta)} [\gamma^*\delta^*\gamma^{2k-2p} - \delta^*\gamma^*\delta^{2k-2p}]$$

and

$$PGL_{2k}PGL_{2(p+1)} - PGL_{2(k+1)}PGL_{2p} = \frac{(\gamma - \delta)}{(ab)^{p+k}} [\delta^{**}\gamma^{**}\delta^{2k-2p} - \gamma^{**}\delta^{**}\gamma^{2k-2p}].$$

Proof:

$$\begin{aligned} & \frac{(\gamma^*\gamma^{2k} - \delta^*\delta^{2k})}{(ab)^k(\gamma - \delta)} \frac{(\gamma^*\gamma^{2(p+1)} - \delta^*\delta^{2(p+1)})}{(ab)^{p+1}(\gamma - \delta)} - \frac{(\gamma^*\gamma^{2(k+1)} - \delta^*\delta^{2(k+1)})}{(ab)^{k+1}(\gamma - \delta)} \frac{(\gamma^*\gamma^{2p} - \delta^*\delta^{2p})}{(ab)^p(\gamma - \delta)} \\ &= \frac{1}{(ab)^{k+p+1}(\gamma - \delta)^2} [\gamma^*\delta^*(\gamma^{2k+2}\delta^{2p} - \gamma^{2k}\delta^{2p+2}) + \delta^*\gamma^*(\gamma^{2p}\delta^{2k+2} - \gamma^{2p+2}\delta^{2k})] \\ &= \frac{1}{(ab)^{k+p+1}(\gamma - \delta)^2} [\gamma^*\delta^*(\gamma^{2k-2p+2} - \gamma^{2k-2p}\delta^2) + \delta^*\gamma^*(\delta^{2k-2p+2} - \gamma^2\delta^{2k-2p})] \\ &= \frac{1}{(ab)^{k+p+1}(\gamma - \delta)^2} [\gamma^*\delta^*\gamma^{2k-2p}(\gamma^2 - \delta^2) - \delta^*\gamma^*\delta^{2k-2p}(\gamma^2 - \delta^2)] \\ &= \frac{1}{(ab)^{k+p}(\gamma - \delta)} [\gamma^*\delta^*\gamma^{2k-2p} - \delta^*\gamma^*\delta^{2k-2p}]. \end{aligned}$$

D'Ocagne's formula for the biperiodic Lucas Gaussian quaternion can be demonstrated similarly.

Theorem 10: (like-Tagiuri's Identity) For $p \geq 1$ and nonnegative even integer p such that $k \leq p$, we have

$$PGF_{p+k}PGF_{p-k} - PGF_p^2 = \begin{cases} \frac{(-1)^p PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}}{a^{1-\varepsilon(k)}(\delta - \gamma)(-ab)^k} (\gamma^*\delta^*\gamma^k - \delta^*\gamma^*\delta^k), p \text{ is even} \\ \frac{(-1)^p (ab)PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}}{a^{1-\varepsilon(k)}(\delta - \gamma)(-ab)^k} (\gamma^{**}\delta^{**}\gamma^k - \delta^{**}\gamma^{**}\delta^k), p \text{ is odd} \end{cases}$$

and

$$PGL_{p+k}PGL_{p-k} - PGL_p^2 = \begin{cases} \frac{PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor - 1}(\gamma - \delta)}{a^{1-\varepsilon(k)}(-ab)^k} (\gamma^{**}\delta^{**}\gamma^k - \delta^{**}\gamma^{**}\delta^k), p \text{ is even} \\ \frac{PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor - 1}(\gamma - \delta)}{a^{1-\varepsilon(k)}(-ab)^{k+1}} (\gamma^*\delta^*\gamma^k - \delta^*\gamma^*\delta^k), p \text{ is odd} \end{cases}$$

Proof: If p is even

$$PGF_{p+k}PGF_{p-k} - PGF_p^2 = \left(\frac{\gamma^*\gamma^{p+k} - \delta^*\delta^{p+k}}{(ab)^{\lfloor \frac{p+k}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)} \right) \left(\frac{\gamma^*\gamma^{p-k} - \delta^*\delta^{p-k}}{(ab)^{\lfloor \frac{p-k}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)} \right) - \left(\frac{\gamma^*\gamma^p - \delta^*\delta^p}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{(ab)^p(\alpha-\delta)^2} (\alpha^* \alpha^{p+k} - \delta^* \delta^{p+k})(\alpha^* \alpha^{p-k} - \delta^* \delta^{p-k}) - (\alpha^* \alpha^p - \delta^* \delta^p)^2 \\
&= \frac{(\gamma\delta)^p}{(ab)^p(\gamma-\delta)^2(\gamma\delta)^k} \left(\gamma^* \delta^* \left(\frac{\delta^k - \gamma^k}{\delta^k} \right) - \delta^* \gamma^* \left(\frac{\delta^k - \gamma^k}{\gamma^k} \right) \right) \\
&= \frac{(-1)^p PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}}{\alpha^{1-\varepsilon(k)}(\delta-\gamma)(-ab)^k} (\gamma^* \delta^* \gamma^k - \delta^* \gamma^* \delta^k).
\end{aligned}$$

If p is odd

$$\begin{aligned}
PGF_{p+k}PGF_{p-k} - PGF_p^2 &= \left(\frac{\gamma^{**}\gamma^{p+k} - \delta^{**}\delta^{p+k}}{(ab)^{\lfloor \frac{p+k}{2} \rfloor}(\gamma-\delta)} \right) \left(\frac{\gamma^{**}\gamma^{p-k} - \delta^{**}\delta^{p-k}}{(ab)^{\lfloor \frac{p-k}{2} \rfloor}(\gamma-\delta)} \right) - \left(\frac{\gamma^{**}\gamma^p - \delta^{**}\delta^p}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor}(\gamma-\delta)} \right)^2 \\
&= \frac{1}{(ab)^{p-1}(\gamma-\delta)^2} (\gamma^{**}\gamma^{p+k} - \delta^{**}\delta^{p+k})(\gamma^{**}\gamma^{p-k} - \delta^{**}\delta^{p-k}) - (\gamma^{**}\gamma^p - \delta^{**}\delta^p)^2 \\
&= \frac{(\gamma\delta)^p}{(ab)^p(\gamma-\delta)^2(\gamma\delta)^k} \left(\gamma^{**}\delta^{**} \left(\frac{\delta^k - \gamma^k}{\delta^k} \right) - \delta^{**}\gamma^{**} \left(\frac{\delta^k - \gamma^k}{\gamma^k} \right) \right) \\
&= \frac{(-1)^p(ab)PF_k(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}}{\alpha^{1-\varepsilon(k)}(\delta-\gamma)(-ab)^k} (\gamma^{**}\delta^{**}\gamma^k - \delta^{**}\gamma^{**}\delta^k).
\end{aligned}$$

The other part of the proof is computed following the same way.

Theorem 11: (Honsberger's Identity) For $p \geq 1$ and nonnegative even integer k such that $k \leq p$, we have

$$\begin{aligned}
&PGF_pPGF_k + PGF_{p+1}PGF_{k+1} \\
&= \begin{cases} \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2^*} + \gamma^2\gamma^{2^{**}}) + \delta^{p+k}(\delta^{2^*} + \delta^2\delta^{2^{**}}) - (-ab)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(\gamma-\delta)^2}, & p, k \text{ are even} \\ \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2^{**}} + \gamma^2\gamma^{2^*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2^{**}} + \delta^2\delta^{2^*}) - (-ab)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(\gamma-\delta)^2}, & p, k \text{ are odd} \end{cases} \\
&PGL_pPGL_k + PGL_{p+1}PGL_{k+1} \\
&= \begin{cases} \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2^{**}} + \gamma^2\gamma^{2^*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2^{**}} + \delta^2\delta^{2^*}) + (-1)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(ab)^{\frac{p+k}{2}}}, & p, k \text{ are even} \\ \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2^*} + \gamma^2\gamma^{2^{**}}) + \delta^{p+k}(\delta^{2^*} + \delta^2\delta^{2^{**}}) - (-1)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(ab)^{\frac{p+k}{2}}}, & p, k \text{ are odd} \end{cases}
\end{aligned}$$

Proof: If p and k are even

$$\begin{aligned}
&PGF_pPGF_k + PGF_{p+1}PGF_{k+1} \\
&= \frac{(\alpha^* \alpha^p - \delta^* \delta^p)(\alpha^* \alpha^k - \delta^* \delta^k)}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor}(\alpha-\delta)(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}(\alpha-\delta)} + \frac{(\alpha^{**}\alpha^{p+1} - \delta^{**}\delta^{p+1})(\alpha^{**}\alpha^{k+1} - \delta^{**}\delta^{k+1})}{(ab)^{\lfloor \frac{p+1}{2} \rfloor}(\alpha-\delta)(ab)^{\lfloor \frac{k+1}{2} \rfloor}(\alpha-\delta)} \\
&= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2^*} + \gamma^2\gamma^{2^{**}}) + \delta^{p+k}(\delta^{2^*} + \delta^2\delta^{2^{**}}) - (-1)^p(\gamma^{k-p} + \delta^{k-p})(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor + \lfloor \frac{k}{2} \rfloor}(\gamma-\delta)^2}
\end{aligned}$$

$$= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2*} + \gamma^2\gamma^{2**}) + \delta^{p+k}(\delta^{2*} + \delta^2\delta^{2**}) - (-ab)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(\gamma - \delta)^2}$$

If p and k are odd

$$\begin{aligned} & PGF_p PGF_k + PGF_{p+1} PGF_{k+1} \\ &= \frac{(\gamma^{**}\gamma^p - \delta^{**}\delta^p)(\gamma^{**}\gamma^k - \delta^{**}\delta^k)}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)(ab)^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)} + \frac{(\gamma^*\gamma^{p+1} - \delta^*\delta^{p+1})(\gamma^*\gamma^{k+1} - \delta^*\delta^{k+1})}{(ab)^{\lfloor \frac{p+1}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)(ab)^{\lfloor \frac{k+1}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2**} + \gamma^2\gamma^{2*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2**} + \delta^2\delta^{2*}) - (-1)^p(\gamma^{k-p} + \delta^{k-p})(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor + \lfloor \frac{k}{2} \rfloor}(\gamma - \delta)^2} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2**} + \gamma^2\gamma^{2*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2**} + \delta^2\delta^{2*}) - (-ab)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(\gamma - \delta)^2} \end{aligned}$$

If p and k are even

$$\begin{aligned} & PGL_p PGL_k + PGL_{p+1} PGL_{k+1} \\ &= \frac{(\gamma^{**}\gamma^p + \delta^{**}\delta^p)(\gamma^{**}\gamma^k + \delta^{**}\delta^k)}{(ab)^{\lfloor \frac{p+1}{2} \rfloor}(ab)^{\lfloor \frac{k+1}{2} \rfloor}} + \frac{(\gamma^*\gamma^{p+1} - \delta^*\delta^{p+1})(\gamma^*\gamma^{k+1} - \delta^*\delta^{k+1})}{(ab)^{\lfloor \frac{p+2}{2} \rfloor}(ab)^{\lfloor \frac{k+2}{2} \rfloor}} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2**} + \gamma^2\gamma^{2*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2**} + \delta^2\delta^{2*}) + (-1)^p(\gamma^{-p} + \delta^{k-p})(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor + \lfloor \frac{k}{2} \rfloor}} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2**} + \gamma^2\gamma^{2*}) + \delta^{p+k}(\delta^{2**} + \delta^2\delta^{2*}) + (-1)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(ab)^{\frac{p+k}{2}}} \end{aligned}$$

If p and k are odd

$$\begin{aligned} & PGL_p PGL_k + PGL_{p+1} PGL_{k+1} \\ &= \frac{(\gamma^*\gamma^p - \delta^*\delta^p)(\gamma^*\gamma^k - \delta^*\delta^k)}{(ab)^{\lfloor \frac{p+1}{2} \rfloor}(ab)^{\lfloor \frac{p+1}{2} \rfloor}} + \frac{(\gamma^{**}\gamma^{p+1} + \delta^{**}\delta^{p+1})(\gamma^{**}\gamma^{k+1} + \delta^{**}\delta^{k+1})}{(ab)^{\lfloor \frac{p+2}{2} \rfloor}(ab)^{\lfloor \frac{k+2}{2} \rfloor}} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2*} + \gamma^2\gamma^{2**}) + \delta^{p+k}(\delta^{2*} + \delta^2\delta^{2**}) - (-1)^p(\gamma^{k-p} + \delta^{k-p})(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})}{(ab)^{\lfloor \frac{p}{2} \rfloor + \lfloor \frac{k}{2} \rfloor}} \\ &= \frac{\gamma^{p+k}(\gamma^{2*} + \gamma^2\gamma^{2**}) + \delta^{p+k}(\delta^{2*} + \delta^2\delta^{2**}) - (-1)^p(\gamma^*\delta^* + \gamma^{**}\delta^{**})PL_{k-p}}{(ab)^{\frac{p+k}{2}}} \end{aligned}$$

The other part of the proof is computed following the same way.

Theorem 12: The connections between biperiodic Fibonacci Gaussian quaternion PGF_a and biperiodic Lucas Gaussian quaternion PGL_a are as follows

$$\begin{aligned} & PGF_{a-1} + PGF_{a+1} = PGL_a \\ & PGF_{a+2} - PGF_{a-2} = (\gamma^2 - \delta^2)PGL_a \\ & PGL_{a-1} + PGL_{a+1} = (\gamma - \delta)^2 PGF_a \\ & PGL_{a+2} - PGL_{a-2} = -(\gamma - \delta)^2 PGF_a \end{aligned}$$

Proof: If a is even

$$\begin{aligned}
 PGF_{a-1} + PGF_{a+1} &= \left(\frac{\gamma^* \gamma^{a-1} - \delta^* \delta^{a-1}}{(ab)^{\lfloor \frac{a-1}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^* \gamma^{a+1} - \delta^* \delta^{a+1}}{(ab)^{\lfloor \frac{a+1}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^* \gamma^{a-1} - \delta^* \delta^{a-1}}{(ab)^{\frac{a}{2}-1} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^* \gamma^{a+1} - \delta^* \delta^{a+1}}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{(-\gamma\delta)(\gamma^* \gamma^{a-1} - \delta^* \delta^{a-1})}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^* \gamma^{a+1} - \delta^* \delta^{a+1}}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^* \gamma^a (\gamma - \delta) + \delta^* \delta^a (\gamma - \delta)}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^* \gamma^a + \delta^* \delta^a}{(ab)^{\lfloor \frac{a+1}{2} \rfloor}} \right) = PGL_a
 \end{aligned}$$

If a is odd

$$\begin{aligned}
 PGF_{a-1} + PGF_{a+1} &= \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^{a-1} - \delta^{**} \delta^{a-1}}{(ab)^{\lfloor \frac{a-1}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^{a+1} - \delta^{**} \delta^{a+1}}{(ab)^{\lfloor \frac{a+1}{2} \rfloor} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^{a-1} - \delta^{**} \delta^{a-1}}{(ab)^{\frac{a}{2}-1} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^{a+1} - \delta^{**} \delta^{a+1}}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{(-\gamma\delta)(\gamma^{**} \gamma^{a-1} - \delta^{**} \delta^{a-1})}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) + \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^{a+1} - \delta^{**} \delta^{a+1}}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^a (\gamma - \delta) + \delta^{**} \delta^a (\gamma - \delta)}{(ab)^{\frac{a}{2}} (\gamma - \delta)} \right) \\
 &= \left(\frac{\gamma^{**} \gamma^a + \delta^{**} \delta^a}{(ab)^{\lfloor \frac{a+1}{2} \rfloor}} \right) = PGL_a
 \end{aligned}$$

The other part of the proof is computed following the same way.

3. Conclusion

This study shows the biperiodic Fibonacci and Lucas Gaussian quaternions. We acquire these new quaternions which were not defined in the literature before. We generate Binet's formula, generating function formula and the relationships between for these quaternions. Also we give d'Ocagne's, Catalan's, Cassini's, Honsberger's and like-Tagiuri's identities. Since this study comprises some new outcomes, it conduces to literature by providing requisite information regarding the bicomplex quaternions. The main contribution of this research is that one can get a great number of distinct quaternion sequence by providing the initial values in the bi-periodic Fibonacci and Lucas sequences. For further studies, we plan to find some properties for the bi-periodic Fibonacci and Lucas quaternions.

Acknowledgement

The author expresses his sincere thanks to the anonymous referees and the associate editor for their careful reading, suggestions and comments, which improved the presentation of results.

Conflicts of Interest

The author declare no conflict of interest.

References

- Adler SL. Quaternionic quantum mechanics and quantum fields. New York Oxford Univ. Press; 1994.
- Baez J. The octonians. *Bull. Amer. Math. Soc.* 2001; 145(39): 145-205.
- Bilgici G. Two generalizations of Lucas sequence. *Applied Mathematics and Computation* 2014; 245: 526-538.
- Çimen CB., İpek A. On Pell quaternions and Pell-Lucas quaternions. *Adv. Appl. Clifford Algebras* 2016; 26(1): 39–51.
- Edson M., Yayenie O. A new generalization of Fibonacci sequences and the extended Binet's formula. *INTEGERS Electron. J. Comb. Number Theor* 2009; 9: 639-654.
- Falcon S., Plaza A. On the fibonacci k-numbers. *Chaos, Solitons & Fractals* 2007; 32(5): 1615-1624.
- George AH. Some formula for the Fibonacci sequence with generalization. *Fibonacci Quart* 1969; 7: 113-130.
- Gökbaş H. A note BiGaussian Pell and Pell-Lucas numbers. *Journal of Science and Arts* 2021; 3(56): 669-680.
- Harman CJ. Complex fibonacci numbers. *The Fibonacci Quart* 1981; 19(1): 82-86.
- Horadam AF. A generalized Fibonacci sequence. *Math. Mag.* 1961; 68: 455-459.
- Horadam AF. Complex Fibonacci numbers and Fibonacci quaternions. *Amer. Math. Montly* 1963; 70: 289-291.
- Pethe SP., Phadte CN. A generalization of the Fibonacci sequence. *Applications of Fibonacci Numbers* 1992; 5: 465-472.
- Pond JC. Generalized fibonacci summations. *Fibonacci Quart* 1968; 6: 97-108.
- Ramirez J. Some combinatorial properties of the k-Fibonacci and the k-Lucas quaternions. *An. Şt. Univ. Ovidius Constanta* 2015; 23(2): 201-212.
- Ward JP. Quaternions and cayley numbers. *Algebra and Applications*. Kluwer Academic Publishers, London, 1997.

Elektrikli Araçlarda Kablosuz Güç Transferi Sistem Tasarımı ve Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Değerlendirilmesi

Mesut EROL¹, Kayhan ATEŞ^{2*}, Şükrü ÖZEN³

^{1,2,3}Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, 07058, Antalya

¹<https://orcid.org/0000-0002-8966-2590>

²<https://orcid.org/0000-0002-6016-6577>

³<https://orcid.org/0000-0002-5538-6786>

*Sorumlu yazar: kayhanates@akdeniz.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.01.2022

Kabul tarihi:06.06.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kablosuz Güç Transferi
Manyetik Rezonanslı Kuplaj
Elektromanyetik Maruziyet
Elektrikli Araçlar

ÖZ

Günümüzde elektrikli araçların batarya performansı tartışma konusu olsa da şarj istasyonlarının çoğalması bu soruna bir çözüm olmuştur. Kablosuz güç transferi (KGT) yöntemi, elektrikli araç sektöründe yenilikçi teknolojilerden birisidir. Bu çalışmada, seri – seri topolojiye sahip manyetik rezonans kuplaj temelli KGT yöntemi, teorik ve deneysel olarak ele alınmıştır. Devre için tasarlanan bobinlerin arası 15 cm iken 40 kHz’de yaklaşık 36 W aktarılmıştır. Devrenin simülasyon sonuçları ile deneysel ölçümlerinin birbirini desteklediği gözlenmiştir. Ayrıca, söz konusu devre ile bir elektrikli arabanın bataryasının şarjı esnasında oluşan elektromanyetik alan maruziyeti incelenmiştir. Ansys HFSS ile gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda doku modelindeki en yüksek elektrik alan seviyesi yaklaşık 43 mV/m olarak elde edilmiştir. Tasarlanan KGT devresinin manyetik alan şiddeti ölçümleri sonucunda alıcı bobine yük olarak sadece batarya bağlı durumdayken 5 cm mesafede 11 μ T ölçülmüştür. Yük olarak batarya ve motor birlikte bağlıyken 32 μ T manyetik alan şiddeti elde edilmiştir.

Design of a Wireless Power Transfer System in Electric Vehicles and Assessment of the Electromagnetic Field Exposure

Research Article

Article History:

Received: 26.01.2022

Accepted: 06.06.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Wireless Power Transfer
Magnetic Resonance Coupling
Electromagnetic Exposure
Electrical Vehicles

ABSTRACT

Although the battery performance of electric vehicles is a matter of debate today, the proliferation of charging stations has been a solution to this problem. The wireless power transfer (WPT) method is one of the innovative technologies in the electric vehicle industry. In this study, the magnetic resonance coupling-based WPT method with series – series topology is discussed theoretically and experimentally. While the distance between the coils designed for the circuit was 15 cm, approximately 36 W power was transferred at 40 kHz. It has been observed that the simulation results and the experimental measurements of the circuit support each other. In addition, the electromagnetic field exposure that occurs during the charging of the battery of an electric car was investigated with the mentioned circuit. The maximum electric field level on tissue was simulated as approximately 43 mV/m with the Ansys HFSS. As a result of the magnetic field strength measurements of the designed WPT circuit, 11 μ T was measured at 5 cm when only the battery was connected to the receiver coil. A magnetic field strength of 32 μ T was obtained when the battery and motor were connected together as a load.

1. Giriş

Elektrik, günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Aydınlatma, elektronik, tarım ve motorlu sistemler gibi alanlarda tercih edilen elektrik, son zamanlarda ulaşımı sağlayan araçlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bazı büyük otomobil firmaları da bu alana öncülük etmiş, elektrikli araç sektörünün gelişmesi için çalışmalar geliştirmiştir. Elektrikli araç sektörü ilerledikçe, buna bağlı olarak yeni alanlar da ortaya çıkmıştır (Pashaei ve ark., 2016). Batarya teknolojisinde bu alana yönelik çalışmalar yapılması da bu durumu doğrulamaktadır. Kablolu şarjların yanı sıra kablosuz şarj çalışmaları da elektrikli araç sektöründe hız kazanmaya başlamıştır (Fincan, 2015).

Elektrikli araçlarda kablosuz şarj, temelde KGT sistemine dayanmaktadır. KGT’de araştırmacılar tarafından incelenen birçok farklı yöntem bulunmaktadır (Tel ve Kuşdoğan, 2019). Lee ve Lorenz, 3,7 MHz’de 30 cm mesafeden %95 verim oranıyla 200 W değerinde elektriksel gücü kablosuz bir şekilde başarıyla iletmıştır (Lee ve Lorenz, 2011). Çalışmalarında kullandıkları bobin sarımları için dalga boyunu da dikkate almışlardır. Geleneksel çalışmaların aksine geliştirdikleri yöntemle frekans ve direnç değerlerine odaklanıp bobin sarımlarının iç direncini düşürmüşlerdir. Wen ve Huang, KGT’den kaynaklı insan vücuduna maruziyeti, verici bobin konumuna göre incelemiştir (Wen ve Huang, 2017). Sonlu elemanlar analizine göre akciğerlerdeki özgül soğurma oranı (ÖSO) dağılımı, vücudun diğer bölgelerine göre daha fazla elde edilmiştir. De Santis ve arkadaşları, dış kabuğu karbon fiber malzemeden oluşan elektrikli araçlarda KGT sisteminin etkilerini araştırmışlardır (De Santis ve ark., 2018). 7,7 kW çıkış gücünde, 85 kHz ile 150 kHz olmak üzere iki farklı frekansta çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bobinler arası yanlış hizalamanın, daha yüksek indüklenmiş alanlar yarattığı bilindiğinden, bu çalışmada bobinler arası merkezden 20 cm dışarıda olacak şekilde kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçların, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından belirlenen sınırları hizalanmış durumda 1,3 dB ve hizalanmamış durumda ise 4,8 dB aştığı görülmüştür. Pinto ve arkadaşları, gerçekleştirdikleri çalışmada anatomik model üzerinde iki farklı KGT maruziyet senaryosu düşünmüştür (Pinto ve ark., 2017). Merkezi sinir sisteminde indüklenen elektrik alan değeri en fazla 0,05 V/m olarak bulunmuştur ve bu sonuç limit değerlere uygundur. Kafa üzerinde yapılan ikinci senaryoda ise, maksimum akım yoğunluğu değeri 30 mA/m² elde edilmiştir ve standartlara uyduğu gözlenmiştir.

Elektromanyetik alan maruziyeti konusu, günümüzde birçok araştırmacı ve kuruluş tarafından ele alınmaktadır. ICNIRP tarafından dokuda indüklenen elektrik alan değerleri ve manyetik alan maruziyet limitleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. ICNIRP tarafından yayınlanan 40 kHz'deki limit değerler (ICNIRP, 2010)

| Vücut bölgeleri | İndüklenen Elektrik Alan Değerleri | Manyetik Alan Maruziyet Limit Değerleri |
|-----------------------|------------------------------------|---|
| Genel Halk Maruziyeti | 5,4 V/m | 27 μ T |
| Mesleki Maruziyet | 10,8 V/m | 100 μ T |

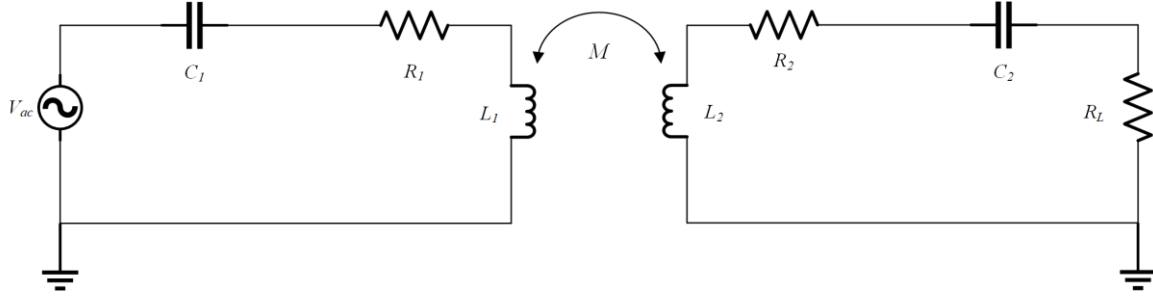
Batarya teknolojileri, ülkemizde ve dünyada ele alınan başlıca araştırma konuları arasında bulunmaktadır (Ağçal ve Doğan, 2021). Elektrikli araçlar ve batarya uygulamaları da bu konular arasında gösterilebilir. Literatürde bu konuda kablolu veya kablosuz birçok çalışma olmasına rağmen farklı senaryolardan dolayı ideal bir çözüm sunulamamaktadır (Ağçal ve ark., 2016; Dergham ve ark., 2020). Bu çalışmada, elektrikli araçlar için seri – seri manyetik rezonans kuplaj özelliğine sahip kablosuz şarj sistemi uygulaması ve elektromanyetik maruziyet analizi gerçekleştirilmiştir. 40 kHz çalışma frekansı ve 10,3 V çalışma gerilimine sahip bir devre tasarlanmıştır. Ele alınan manyetik rezonans kuplaj yöntemi, literatürde bulunan diğer KGT uygulamalarına kıyasla daha verimli ve uygulamasının daha kolay olması sebebiyle tercih sebebidir (Fincan, 2015). Bu çalışma kapsamında kullanılan alıcı ve verici bobinler, Ansys HFSS üzerinde simüle edilmiştir. Ayrıca KGT esnasında oluşan elektromanyetik maruziyet, hem teorik hem de deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında KGT devresinin teorik altyapısı belirtilmiştir. Ardından bobinlerin tasarımı ve analizi sunulmuştur. Sonrasında simülasyon sonuçları ve deneysel ölçümler belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer uygulamalarla kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. KGT Devresinin Tasarımı

Manyetik rezonans kuplajlı KGT'de alıcı ve verici bobinler kullanılmaktadır (Kaplan, 2019). Bu yöntem sayesinde alıcı bobinde en yüksek seviyede akım indüklenmesi için devrenin rezonans frekansında çalışması gerekmektedir (Alexander ve Sadiku, 2012). Verici bobin devresindeki zamanla değişen gerilim, alıcı bobinde Faraday Yasası'na göre indüklenmektedir (Arı ve Özen, 2008). Bu şekilde KGT açıklanır.

Uygulamada seri – seri, seri – paralel, paralel – seri ve paralel – paralel olmak üzere dört farklı KGT yöntemi mevcuttur (Öztürk, 2017). Devre topolojilerinin bu isimleri, sisteme bağlanma biçimlerinden gelmektedir. Bu çalışmada seri – seri KGT yöntemi, kapasitans ve indüktans değerlerinin kolay ayarlanması ve literatürde genellikle seri – seri yönteminin kullanılmasından dolayı tercih edilmiştir ve Şekil 1'de sunulmuştur (Fincan, 2015; Öztürk, 2017).



Şekil 1. Seri – seri KGT topolojisi

Devrede dikkat edilmesi gereken konu, çalışma frekansının rezonans durumunda olmasıdır. Rezonans durumunun sağlanması için tek bir frekans kullanılması ve L ile C değerlerinin birbirlerine eşit olması gerekmektedir ($L_1=L_2$, $C_1=C_2$). Rezonans frekansı, Denklem (1)'de verilmiştir (Ağçal ve ark., 2018).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

burada f çalışma frekansı (Hz), L bobinin endüktansı (H) ve C kapasitans değerini (F) belirtir. Bobinin endüktans değeri, iletilen gücün verimini doğrudan etkilemektedir. Endüktans hesaplaması Denklem (2)'de verilmiştir (Tezcan ve ark., 2017).

$$L = 31,33\mu_0 \frac{N^2 a^2}{8a + 11c} \quad (2)$$

burada N sarım sayısı, a bobin yarıçapı (m), c bobin kalınlığını (m) temsil etmektedir. Denklemde görüldüğü üzere bobinin endüktansı, çevre birimleriyle doğrudan bağlantılıdır. Bobinlerin bireysel endüktansları bu formüle göre hesaplanırken, ortak endüktanslarının hesaplanması için aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir. Denklem (3)'te, Biot – Savart Yasası verilmiştir (Cheng, 1993).

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\mathbf{l}' \times \mathbf{a}_R}{R^2} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde \mathbf{H} manyetik alanı (A/m), μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliğini, I akımı (A), $d\mathbf{l}'$ diferansiyel uzunluk elemanı, \mathbf{a}_R birim vektörü ve R ise gözlem noktası ile akım elemanı arasındaki uzaklığı belirtir (m). Bu denklem, kapalı bir yoldaki I akımının sebep olduğu manyetik akı yoğunluğunu açıklar. Çalışmada kapalı yol olarak adlandırılan birim, bobini temsil etmektedir. $d\mathbf{l}'$ ve \mathbf{a}_R değerleri çalışmaya uygun koşullarda (iki adet özdeş bobin) değerlendirilirse Denklem (4) elde edilir.

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (4)$$

burada x bobinler arası mesafeyi temsil etmektedir (m). Manyetik akı yoğunluğunun ilgilenen yüzey boyunca integrali, manyetik akıyı tanımlar ve Denklem (5)'te sunulmuştur.

$$\Phi = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \frac{\mu_0 I r^2 \pi R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (5)$$

burada r bobin yarıçapını temsil etmektedir (m). İki bobin arasındaki manyetik akının bobin üzerinden geçen I akımına oranı, ortak endüktansa karşılık gelmektedir ve Denklem (6)'da verilmiştir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan bobinlerin ortak endüktansı 0,2 H'dir.

$$M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 r^2 \pi R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (6)$$

2.2. Bobinlerin Tasarımı ve Analizi

Bobin tasarımları ve elektromanyetik maruziyet analizleri, sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı çalışan Ansys HFSS simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir (Özder, 2020). Bobinler, Tablo 2'de belirtilen karakteristik özelliklere göre simülasyon ortamında incelenmiştir.

Tablo 2. Ansys HFSS ile tasarlanan bobinlerin özellikleri

| Bobin Parametreleri | Değerler |
|------------------------|---------------|
| Verici bobin | 156,2 μ H |
| Alıcı bobin | 156,2 μ H |
| Rezonans frekansı | 40 kHz |
| Sarım sayısı | 25 |
| Bobin dış çap uzunluğu | 25 cm |
| Tel kalınlığı | 2 mm |
| Akım | 1 A |

Elde edilen değerler ve araştırmalar sonucunda, bobinlerin rezonans frekansına sahip olması için bazı istekler bulunmaktadır. Bu istekleri karşılamak için evirici devreleri kullanılmıştır. Bir devre tasarımı yapılmış, KGT devresi, MATLAB Simulink ve PSpice programlarında analiz edilmiştir.

Herhangi bir akım elemanının çevresinde oluşan manyetik alanı açıklayan Biot-Savart Yasası, birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır ve Denklem (3)'te verilmiştir.

Faraday Yasası'na göre elektrik alanın insan vücudunda indüklenmesi, zamanla değişen manyetik alanın dışarıdan uygulanmasıyla ilişkilidir (Ates ve ark., 2021). Düşük frekans bölgesindeki manyetik alan, kuasi-statik yaklaşımla incelendiğinden yer değiştirme akımları, Denklem (7)'ye göre ihmal edilebilir (Ozen, 2008).

$$\sigma \gg \omega \varepsilon \quad (7)$$

burada ε , vücudun dielektrik sabitini, σ elektriksel iletkenliği (S/m), ω ise açısal frekansı ($\omega = 2\pi f$, rad/s) belirtir. Yukarıda belirtilen indüklenen elektrik alan ifadesi, manyetik alan kaynağından oluşmaktadır ve Denklem (8)'deki gibi ifade edilmektedir (Ates ve ark., 2016).

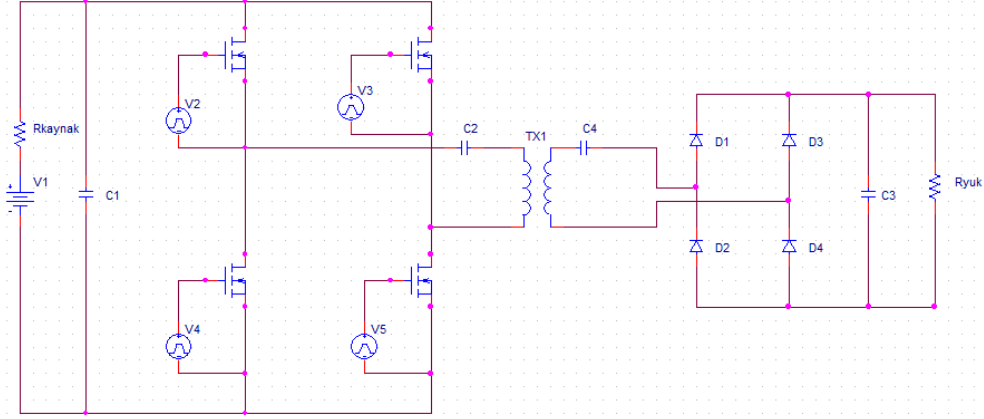
$$\mathbf{E} \approx -j\omega \mathbf{A} \quad (8)$$

Denklem (8)'de belirtilen \mathbf{A} , kaynağın manyetik vektör potansiyelini (Wb/m) ifade eder. Yukarıda belirtilen denklemde \mathbf{E} ifadesi indüklenen elektrik alanı (V/m) ifade eder. Bu çalışma kapsamında incelenen kafa modeli ve vücut modeli sırasıyla ortalama beyin dokusu ve ortalama kas dokusu olarak incelenmiştir. Ortalama beyin ve kas dokularının elektriksel iletkenlikleri 40 kHz'de sırasıyla 0,146 S/m ve 0,35 S/m iken dielektrik sabitleri sırasıyla 6840 ile 11000'dir (Andreuccetti ve ark, 1997).

3. Bulgular ve Tartışma

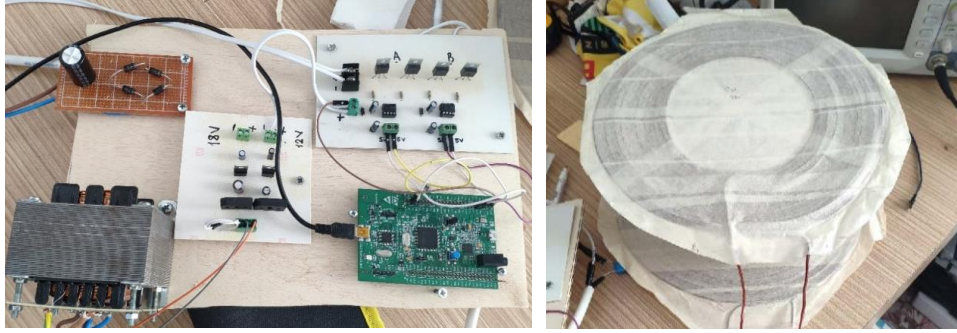
Önceki kısımda belirtilen seri – seri rezonans devresinde bobinleri kablosuz güç aktarımına tetiklemek için evirici devresi tasarlanmıştır. Şekil 2, tasarlanan devreyi göstermektedir. Şebekeden gelen gerilim (220 V 50-60 Hz), trafo yardımıyla istenilen gerilim seviyesine düşürülüp ardından doğrultulmuştur. Bu durum, V1 gerilimi ve Rkaynak direnci olarak modellenmiştir. Evirici kısmında bulunan rezonans frekansındaki gerilim, verici bobine bağlanmıştır.

Denklem (1)'e göre frekans ve bobinin endüktans değerinin bilinmesi sayesinde kapasitör değeri hesaplanmıştır.



Şekil 2. Simülasyon ortamında devre tasarımı

KGT devresi ile alıcı ve verici bobinleri, Şekil 3’te belirtilmiştir.



Şekil 3. KGT devresi ve bobin tasarımları

Devrede kullanılan bileşenler Tablo 3’te verilmiştir. Bu değerler altında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Anahtarlama elemanı olarak IRFZ44 kodlu MOSFET kullanılmıştır. MBR2540 diyot tercih edilmiştir. V2, V3, V4 ve V5 olarak belirtilen birimler anahtarlama elemanı tetikleme birimi ünitesi olarak kullanılmış olup, frekansı 40 kHz’dir.

Tablo 3. Şekilde verilen devredeki birimlerin değerleri

| Birimler | Değerler |
|------------|--------------|
| C1 | 330 μ F |
| C2, C3, C4 | 100 nF |
| Rkaynak | 0,2 Ω |
| Ryuk | 10 Ω |

Devrenin alıcı bobinine bağlı Ryuk direnci üzerindeki gerilim ile aynı yük üzerinden geçen akım sonuçları ise Tablo 4’te sunulmuştur. Ölçülen ve hesaplanan gerilim ile akım değerlerine göre güç değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre teorik çalışmalar ile deneysel ölçümler birbirini desteklemektedir.

Tablo 4. Tasarlanan devrenin çıkış değerleri

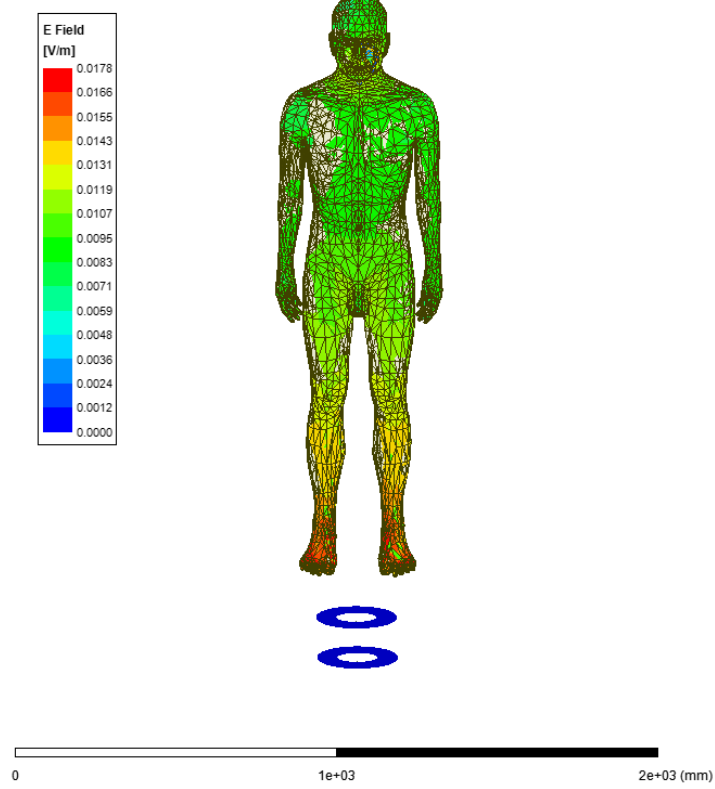
| İncelenen Parametreler | PSpice | MATLAB Simulink | Deneysel Ölçüm |
|------------------------|-----------|-----------------|----------------|
| | Sonuçları | Sonuçları | Sonuçları |
| Gerilim (V) | 10,35 | 10,38 | 10,33 |
| Akım (A) | 3,5 | 3,51 | 3,48 |
| Güç (W) | 36,2 | 36,43 | 35,94 |

Devre, 220 V şebeke gerilimi ile çalışmaktadır. Şebekeden gelen gerilim, trafo yardımıyla istenilen gerilim düzeyine indirilmiş ve anahtarlama elemanlarına bağlanmıştır. Anahtarlama elemanlarının tetiklenmesi için MOSFET sürücü devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Devrelerin çalışması için gerekli olan 12 V gerilim, trafonun çıkışından alınmıştır. Sürücü devresinin uyarım sinyali, STM 32 mikrodenetleyici kartı kullanılarak elde edilmiştir.

Kısmi diferansiyel denklemlerin kullanımına sahip bir çalışma algoritması içeren SEY, mühendislik problemlerinin çözümünü sağlamaktadır. Bu yöntem, Richard Courant tarafından 1943 senesinde ortaya atılmıştır (Courant, 1943). SEY algoritması, dört aşamada incelenir. Tasarlanan problem, ilk önce sonlu elemanlar adı verilen alt uzaylara bölütlenir. Bu adım; algoritmanın çalışmasını etkileyecek şekilde işlemsel hafıza ihtiyacını, sonuçların doğruluğunu ve problemin çözüm zamanını etkiler. İnterpolasyon olarak isimlendirilen adım ile sonlu elemanların analizleri gerçekleştirilir ve sınır koşullarına göre bilinmeyenlerin çözümleri elde edilir. Sonrasında denklemler sisteminin formülleri bulunur ve nihai sonuç elde edilir.

Şekil 4, KGT esnasında dokudaki indüklenen elektrik alan dağılımı simülasyonlarını belirtmektedir. Ansys HFSS programında tasarlanan problem uzayının ağ yapısı; vücut bölgesinde 18305, bobinlerde 16788 ve geri kalan boşlukta ise 269991 adet olmak üzere, toplam 305084 eleman içermektedir. AMD Ryzen Threadripper 3990X model işlemcili ve 64 GB 3200 MHz RAM donanıma sahip bilgisayarda teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonlar, Tablo 2'deki bobin özelliklerine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bobine en yakın bölgede maruziyetin en yoğun olduğu, bobinden uzaklaştıkça alan dağılımının azaldığı görülmüştür. Elektrik alan dağılımının en yoğun olduğu bölge, kaynağa en yakın bölgeler olan ayak kısmıdır ve yaklaşık 43 mV/m elde edilmiştir.



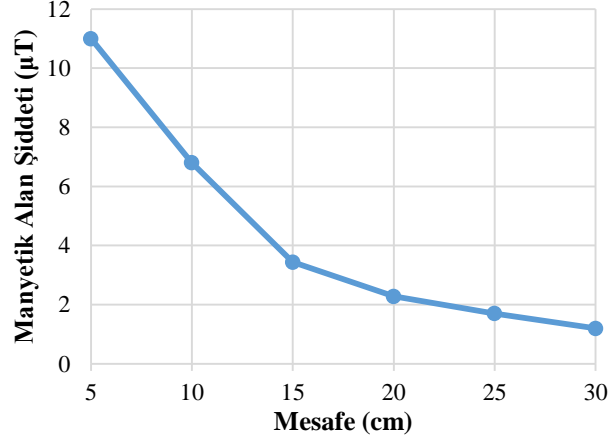
Şekil 4. Vücut modelinde indüklenen elektrik alan dağılımı simülasyon sonuçları

DeneySEL ölçümler, Akdeniz Üniversitesi bünyesinde geliştirilen elektrikli araba prototipi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında, Hioki 3470 magnetic field HiTESTER (Hioki EE Corp., Japonya) cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, uygun ölçüm probuyla ortalama manyetik alan olarak kaydedilmiştir. Ölçüm düzeneği, Şekil 5'te sunulmuştur. Burada, yük olarak incelenen bataryanın gücü 40 W ve motorun gücü 12 W'dır.



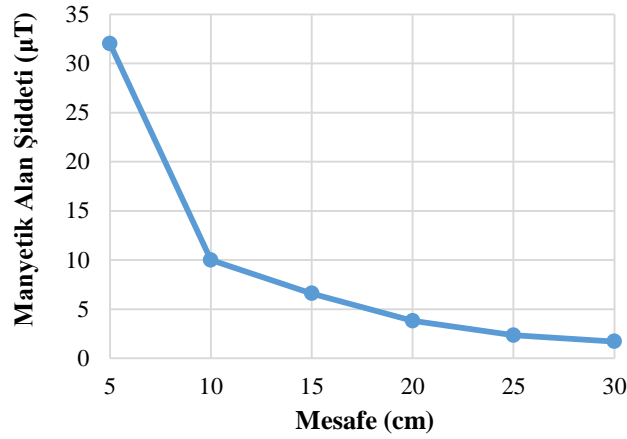
Şekil 5. Manyetik alan şiddeti ölçümü

Şekil 6'daki sonuçlar, sadece bataryanın bağlı olduğu KGT sisteminden kaynaklanan manyetik alan şiddetinin mesafeye bağlı ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Ölçümler, alıcı bobine göre 5 cm mesafe aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Buna göre en yüksek değer, alıcı bobinden 5 cm uzakta 11 μ T olarak ölçülmüştür. Alıcı bobinden 30 cm uzaklıkta ise 1,2 μ T elde edilmiştir. Ölçülen değerlerin mesafeye bağlı olarak doğrusal olmayan bir azalış gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 6. Alıcı bobine batarya bağlıyken manyetik alan şiddetinin mesafeye bağlı değişimi

Şekil 7 ise bataryanın ve bir motorun alıcı bobine bağlandığı KGT senaryosundaki manyetik alan şiddetinin ölçüm sonuçlarını belirtmektedir. Alıcı bobinden 5 cm uzaklıkta 32 μ T gözlenmişken 30 cm uzaklıkta ise 1,7 μ T elde edilmiştir. 5 cm arayla gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının doğrusal olmayan bir azalış sergilediği gözlenmiştir.



Şekil 7. Alıcı bobine batarya ve motor bağlıyken manyetik alan şiddetinin mesafeye bağlı değişimi

4. Sonuç

Bu çalışmada, bir elektrikli araba bataryasının KGT ile şarjı ve elektromanyetik alanların maruziyet analizi gerçekleştirilmiştir. İncelemeler teorik ve deneysel olarak ele alınmıştır. Teorik incelemelerde Ansys HFSS programı ile dokuda indüklenen elektrik alan dağılımı elde edilmiştir. Deneysel ölçümlerde ise farklı uzaklık ve yüklere bağlı olarak manyetik alan şiddeti ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

MATLAB Simulink ve PSpice programları üzerinde gerçekleştirilen rezonans devresi ve güç elektroniği analizleri sonucu mevcut güç değeri belirlenmiştir. PSpice programındaki sonuçlar baz alınmış olup, sonuçlar Tablo 4'te paylaşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, alıcı bobin tarafında 10,35 V gerilim, 3,5 A akım ve 36,2 W güç elde edilirken, ölçüm sonuçlarına göre 10,33 V gerilim, 3,48 A akım ve 35,94 W güç elde edilmiştir.

Ansys HFSS programı üzerinde gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarına göre manyetik alanın insan modelinde indüklediği elektrik alan hesaplanmıştır. Buna göre dokuda indüklenen en yüksek elektrik alan değeri 43 mV/m'dir ve Tablo 1'de belirtilen ICNIRP'nin limit değerlerinin altındadır.

Manyetik alan ölçümleri, Akdeniz Üniversitesi bünyesinde tasarlanan elektrikli araba prototipinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre, en yüksek manyetik alan değerleri sadece batarya bağlıyken 5 cm'de 11 μ T iken batarya ve motor bağlandığında aynı mesafede 32 μ T ölçülmüştür. Bobinden uzaklaştıkça manyetik alan şiddeti doğrusal olmayan oranda azalmaktadır. Eşitlik 1'e göre manyetik alanı etkileyen parametrelerden birisi akımdır. Yük arttığı zaman çekilen akım, dolayısıyla manyetik alan şiddeti artmaktadır. Sadece batarya bağlıyken elde edilen ölçüm değerleri ICNIRP limitlerini sağlamaktayken batarya ve motor bağlı durumda ise genel halk limitlerinin üzerindedir.

Bu çalışmanın literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslama sonuçları, Tablo 5'te sunulmuştur. Çalışma kapsamında tasarlanan devrenin sebep olduğu elektromanyetik maruziyet, teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

Tablo 5. Literatürdeki diğer çalışmalarla bu çalışmanın kıyaslanması

| KGT İle İlgili Çalışmalar | İncelenen Parametreler | | | | | |
|---------------------------|------------------------|---------------|-------------|---------|-------------|-----------------------|
| | Çalışma Frekansı (kHz) | Akım (A) | Gerilim (V) | Güç (W) | Mesafe (cm) | Maruziyet Araştırması |
| Low ve ark, 2009. | 134 | 2,43 | 121,5 | 295 | 1 | Yok |
| Tezcan ve ark, 2017. | 37 | 0,09 - 0,36 | 15-25 | 15 | 10 | Yok |
| Aydın ve ark, 2018. | 24-26 | 33 | 74 | 2200 | 10 | Yok |
| Tel ve ark, 2019. | 18 | 37,93 - 51,78 | 155,05 | 8013 | 15 | Yok |
| Erol ve ark, 2023. | 40 | 3,5 | 10,33 | 35,94 | 15 | Var |

Birçok alanda incelenen bir konu olan KGT, çoklu disiplinli bir uygulama olarak araştırmacılar tarafından ele alınmaktadır. İlerleyen çalışmalarda yüksek gerilim mertebelerinde KGT uygulamaları ve elektrikli arabalarda kablosuz modüler şarj sistemi tasarımı planlanmaktadır.

Teşekkür

Bu alışma, TÜBİTAK 2209–B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 1139B412000755).

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Ağal A., Özıra S., Bekiroğlu N. Wireless power transfer by using magnetically coupled resonators. *International Journal of Wireless Power Transfer: Fundamentals and Technologies* 2016: 49-66.
- Ağal A., Bekiroğlu N., Özıra S. Manyetik rezonanslı kuplaj ile kablosuz enerji transferinde hizalanmış ve hizalanmamış durumların limitlerinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2018; 30(3): 67-73.
- Ağal A., Doğan TH. 1 kW gücünde kablosuz enerji transfer sistemi tasarımı ve insan sağlığına etkileri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2021; 9(3): 856-865.
- Alexander CK., Sadiku MNO. *Fundamentals of electric circuits*. 5th ed. New York: Mcgraw Hill; 2012.
- Andreuccetti D., Fossi R., Petrucci C. An internet resource for the calculation of the dielectric properties of body tissues in the frequency range 10 Hz–100 GHz. Florence: IFAC-CNR; 1997 <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/> (Erişim Tarihi: 08 Mayıs 2022).
- Arı N, Özen ř. *Elektromanyetik alanlar*. Ankara, Türkiye: Palme Yayınevi; 2008.
- Ates K., Carlak HF., Ozen S. Dosimetry analysis of the magnetic field of underground power cables and magnetic field mitigation using an electromagnetic shielding technique. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2021: 1-11.
- Ates K., Carlak HF., Ozen S. Magnetic field exposures due to underground power cables: a simulation study. *2nd World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science (EECSS'16)* 16-17 Ağustos 2016, sayfa no:1-7, Budapeşte, Macaristan.
- Aydın E., Pashaei A., Yıldırım E., Aydemir MT. Elektrikli araçlar için 2.2 kW gücünde bir kablosuz güç aktarım sisteminin tasarımı. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2018; 30(3): 1-6.

- Cheng DK. Fundamentals of engineering electromagnetics. 2nd ed. Amerika Birleşik Devletleri: Addison Wesley; 1993.
- Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations. Bulletin of the American Mathematical Society 1943; 49(1): 1-23.
- De Santis D., Campi T., Cruciani S., Laakso I., Feliziani M. Assessment of the induced electric fields in a carbon-fiber electrical vehicle equipped with a wireless transfer system. Energies 2018; 11(3): 1-9.
- Dergham I., Alayli Y., Imad R., Hamam Y. Effects of a wireless charging system built for an electric kick scooter on human biological tissue. International journal of environmental research and public health 2020; 17(8): 1-13.
- Fincan B. Elektrikli araçlar için kablosuz şarj cihazı tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.
- ICNIRP, Uluslararası İyonize Olmayan Işınmadan Korunma Komisyonu. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health physics 2010; 99(6): 818-836.
- Kaplan O. Kablosuz güç aktarımı için karşılıklı endüktans hesaplama aracının geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 2019; 7(1): 37-48.
- Lee SH., Lorenz RD. Development and validation of model for 95%-efficiency 220-W wireless power transfer over a 30-cm air gap. IEEE Transactions on Industry Applications 2011; 47(6): 2495-2504.
- Low ZN., Chinga RA., Tseng R., Lin Jenshan. Design and test of a high-power high-efficiency loosely coupled planar wireless power transfer system. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2009; 56(5): 1801-1812.
- Ozen S. Evaluation and measurement of magnetic field exposure at a typical high-voltage substation and its power lines. Radiation Protection Dosimetry 2008; 128(2): 198-205.
- Özder Ö. Kablosuz güç transferinde kullanılan bobin yapılarının incelenmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Türkiye, 2020.
- Öztürk F. Elektrikli araçlar için kablosuz güç transfer devresi prototip tasarımı. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 2017.
- Pashaei A., Aydın E., Polat M., Yıldırım E., Aydemir MT. Elektrikli araçlar için temassız güç aktarım sistemleri. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi 2016; 6(11): 1-12.
- Pinto R., Lopresto V., Genovese A. Human exposure to wireless power transfer systems: a numerical dosimetry study. 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) 19-24 Mart 2017, sayfa no:988-990, Paris, Fransa.
- Tel Ö., Kuşdoğan Ş. Elektrikli araçların kablosuz güç iletimi ile şarj edilmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 2(1): 15-26.

Tezcan Y., Ünal H., Sürgevil T., Boztepe M. Optimum coil design considering skin and proximity effects for a wireless battery charger of electric vehicle. World Electromobility Conference (WELMO) 4-5 Mayıs 2017, sayfa no:96-100, İzmir, Türkiye.

Wen F., Huang X. Human exposure to electromagnetic fields from parallel wireless power transfer systems. International Journal of Environmental Research and Public Health 2017; 14(2): 1-15.

Poli (pirol-ko-o-amino fenol)/Kitosan Kompozit Filmlerinin Farklı Monomer Oranlarındaki Çözeltilerde Elektrokimyasal Sentezi ve Karakterizasyonu

Süleyman YALÇINKAYA^{1*}, Şirin DURAN²

^{1,2}Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 31040, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0003-3743-5932>

²<https://orcid.org/0000-0002-3447-5288>

*Sorumlu yazar: suleyman1444@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.06.2022

Kabul tarihi: 21.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Pirol
O-aminofenol
Kitosan
Kompozit
İnce film

ÖZ

Bu çalışmada, poli(pirol-ko-o-aminofenol)/kitosan kompozit filmleri platin elektrot yüzeyinde farklı mol oranlarındaki (pirol:o-aminofenol; 8:2, 6:4, 1:1, 4:6 ve 2:8) çözeltilerde elektrokimyasal yöntemle sentezlenmiştir. Sentezlenen kompozit örnekleri FT-IR, dönüşümlü voltametri (CV) ve SEM görüntüleri teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Sentezlenen kompozit filmlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde monomer oranı değiştikçe kompozit örneklerinin yüzey yapısının değiştiği sonucuna varılmıştır. Platin elektrot yüzeyine kaplanmış kompozit filmlerin elektrokimyasal davranışları incelendiğinde dönüşümlü voltamogramlarda ileri ve geri çevrimlerde ciddi akım değişimlerinin olmadığı görülmüştür. Bu sonuca göre kompozit filmlerinin elektrokimyasal olarak yüksek bir kararlılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında pirol miktarı en yüksek olan kompozit örneğinin (8:2) voltamogramında gözlenen yüksek kapasitif akım değerleri bu kompozit filminin elektrokimyasal kararlılığının en iyi seviyede olduğunu göstermiştir.

Electrochemical Synthesis and Characterization of Poly(Polypyrrole-co-o-aminophenol)/Chitosan Composite Films in Solutions with Different Monomer Ratios

Research Article

Article History:

Received: 08.06.2022

Accepted: 21.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Pyrrole
O-aminophenol
Chitosan
Composite
Thin film

ABSTRACT

In this study, poly(pyrrrole-co-o-aminophenol)/chitosan composite films were synthesized by electrochemical method in solutions of different molar ratios (pyrrole: o-aminophenol; 8:2, 6:4, 1:1, 4:6 and 2:8) on the platinum electrode surface. The synthesized composite samples were characterized using FT-IR, cyclic voltammetry (CV) and SEM imagery techniques. When the SEM images of the synthesized composite films were examined, it was concluded that the surface structure of the composite samples changed as the monomer ratio changed. When the electrochemical behavior of the composite films coated on the platinum electrode surface was examined, it was observed that there were no serious current changes in the forward and reverse cycles in the cyclic voltammograms. According to this result, it was determined that the composite films had a high electrochemical stability. In addition, the high capacitive current values observed in the voltammogram of the composite sample with the highest pyrrole content (8:2) showed that the electrochemical stability of this composite film was at the best level.

To Cite: Yalçinkaya S., Duran Ş. Poli (pirol-ko-o-amino fenol)/Kitosan Kompozit Filmlerinin Farklı Monomer Oranlarındaki Çözeltilerde Elektrokimyasal Sentezi ve Karakterizasyonu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 619-634.

1. Giriş

Polimerlerin iletken hale getirilmesiyle ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunların sonucunda polimerlerin ve metallerin uygulamada üstünlük sağlayan özellikleri birleştirilerek iletkenlik özelliği gösteren polimerlerin sentezlenmesi gerçekleştirilebilmiştir (Yalçinkaya ve Duran, 2022). İletken Polimerler, elektronların polimer zincirlerinin arasında ve içerisinde aktarılabilirdiği, elektrik uyarıcısının mükemmel bir şekilde kontrolünü sağlayan, çok iyi bir elektriksel iletkenliğe ve optik özelliklere sahip malzemelerdir. İletken polimerlerin büyük bir avantajı, kimyasal, elektriksel ve fiziksel özelliklerinin, antikorumaların, enzimlerin ve diğer biyolojik parçaların dahil edilmesiyle bunların özel ihtiyaçlara göre uyarlanabilmeleridir (Bagyeri ve ark., 2014). Bu özellikler sentezden sonra bile stimülasyon (örn. Elektrik, ışık, pH) yoluyla değiştirilebilir ve kontrol edilebilir. Yakın zamanda üretilmiş olmalarına rağmen bugün 25'in üzerinde iletken polimer sistemi mevcuttur. İletken polimerlerin hafif olması ve mekanik özelliklere sahip olması ve bunun yanı sıra iletken özelliğinin sağlanmasına yönelik yapılan çalışmalar endüstride uygulama alanlarına geniş bir yer sunmaktadır (Kobayashi ve ark., 1984). İletken polimerlerin elektrik iletimi ve aktarımı malzemelerinde, pillerde, sensör uygulamalarında (Chen ve ark., 2009; Yalçinkaya ve Çakmak 2021), korozyonu önlemeye yönelik (Herrasti ve ark., 2005; Bereket ve ark., 2009) kapasitör ve diot olarak, mikro makinalarda, elektrolüminisans cihazlarında, elektrik devrelerinde resistör olarak, elektromanyetik cihazlarda ve elektromanyetik girişim kalkanlarının kaplanması, yapay kas sistemlerinde (Guimard ve ark., 2007; Balint ve ark., 2014) ve buna benzer birçok alanda geniş bir yelpazede kullanım alanı mevcuttur (Poron ve ark., 2002; Uzun ve ark., 2015; Kumar ve ark., 2017).

İletken polimerlere konjuge polimerler de denir. Polipirol, polianilin ve bunların türevleri en çok çalışılan konjuge polimerler arasında ilk sıralarda gelirler. Polipirolün en önemli özellikleri ise hava ve suya, kimyasal ve fizyolojik koşullara dayanıklı olması ve iyi derecede yüksek bir iletkenliğe sahip olmasıdır. Polipirol, sulu ortam (asitli ortam) dahil olmak üzere geniş bir çözücü yelpazesinde oda sıcaklığında büyük miktarlarda kolay bir şekilde sentezlenebilir. Polipirolün metal yüzeylerine kaplanan filmleri de kolay sentezlenmelerine rağmen yüksek potansiyellere çıktığında kolaylıkla bozulabilirler. Polianilin ve türevlerinin polimer filmleri polipirol filmine göre yüksek sağlamlık derecesi ve düşük geçirgenlik özelliği gösterir, ancak bunların sentezi polipirolde daha zordur.

Poliprol ve polianilin türevleri iyi elektrokimyasal özelliklere sahip olsa da, bazı uygulamalarda mekanik özellikleri ve termal özellikleri sınırlı kalmaktadır. Kopolimerizasyon ve kompozit hazırlama, uygulamaya yönelik polimer özelliklerinde sistematik değişiklikler yapmak için kullanılan uygun kontrol yöntemleridir (Huang ve ark., 2001). Kompozitler kopolimerlere göre daha iyi performans sahiptir. İki veya daha fazla polimerin kullanılması ile amaçlanan özelliğe sahip olarak oluşturulan, kullanılan polimerlerin özelliklerinden farklı özelliklere sahip olan malzemeler kompozit olarak adlandırılır. Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemesinden oluşur. Polimer matrisli kompozit malzemelerin matris malzemesi polimerlerdir (Mazumdar.,2002). Kompozit malzemelerin yüksek sertlik, düşük yoğunluk, korozyona karşı direnç, kolay tasarım ve şekillendirilme, yüksek ısı dayanımı,

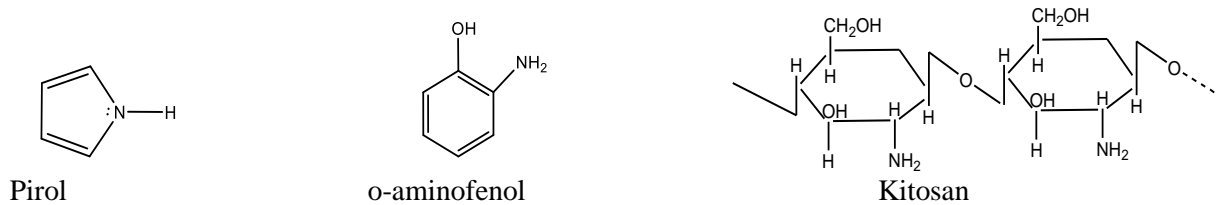
kullanılan malzemeye göre iletken veya yalıtkanlık özelliği gösterme gibi özelliklere sahip olması alternatif kullanım alanlarında avantaj sağlamaktadır (Uygun ve ark., 2011).

Son yıllarda iletken polimer / biyopolimer kompozitlerin sentezi üzerine bir dizi çalışma yapılmıştır (Yalçınkaya ve ark., 2010). Yaygın olarak bu çalışmalar, bu kompozit malzemelerin; sensör uygulamaları için destek materyal ve sudaki iyonları uzaklaştırıcı malzeme olarak kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır (Amiri ve ark., 2011; Karthikeyan ve ark., 2011; Bagyeri ve ark., 2014). İletken polimer/biyopolimer kompozitlerin sentezi üzerinde yapılan çalışmalarda kitosan en çok çalışılan biyopolimerlerden biridir (Hu ve ark., 2001). Kitosan kimyasal yöntemlerle yüksek mekanik özelliklere sahip bir film oluşturabilir. Ancak, düşük elektrik iletkenliği nedeniyle, elektrokimyasal teknikler kullanılarak metal yüzey üzerinde bir film olarak üretilemez. Son dönemlerde yapılan çalışmalar, iletken polimer ve kitosandan elde edilen kompozitlerinin iyi bir iletkenliğe ve termal kararlılığa sahip olduğunu göstermiştir (Yalçınkaya ve Çakmak, 2017; Yalçınkaya ve Duran, 2022).

Bu çalışmada; pirol ve o-aminofenol monomerlerine kitosan biyopolimeri katılarak iletken polimerlerin kullanıldığı uygulamalarda alternatif olabilecek poli(pirol-ko-o-aminofenol)/kitosan kompozit filmler farklı monomer oranlarında yeni bir iletken-biyoaktif kompozit film malzeme olarak hazırlandı. Kompozit filmlerin sentezi elektrokimyasal yöntemle dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak platin elektrot yüzeyinde gerçekleştirildi. Kompozit filmlerin karakterizasyonu CV, FT-IR ve SEM görüntüleri kullanılarak yapıldı. Elde edilen kompozit filmlerin elektrokimyasal kararlılıkları yine dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak araştırıldı.

2. Materyal ve Metot

Monomerler o-aminofenol ve pirol Merck marka olup, kullanılmadan önce damıtma işleminden geçirildi. Kitosan yüksek moleküler ağırlıklı (%75 deasetillenmiş) olup, Aldrich marka satın alındı (Şekil 1). Diğer kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıkta temin edildi. Çalışma elektrotu olarak 1 cm² yüzey alanına sahip platin elektrotlar hazırlanarak kullanıldı. Referans elektrot olarak ise Ag/AgCl elektrot kullanıldı.



Şekil 1. Monomer ve biyopolimerin kimyasal yapıları

2.1. Kompozit Filmlerin Elektrokimyasal Sentez ve Karakterizasyon İşlemleri

Öncelikle 50 mL 'lik bir behere 0,3 M 50 ml okzalik asit çözeltisi ve 0,1 g kitosan alındı ve magnetik karıştırıcı ile tamamen çözünmesi sağlandı. Sonrasında monomer oranları dikkate alınarak (piril:o-aminofenol; 8:2, 6:4, 1:1, 4:6, 2:8) toplam monomer derişimi 0,1 M olacak şekilde pirol ve o-

aminofenol içeren çözeltiler hazırlandı. Sentezde CHI 604E marka model elektrokimyasal analiz cihazı kullanıldı. Dönüşümlü voltametri tekniği ile üç elektrot yöntemi uygulanarak öncelikle karakterizasyon amaçlı 3 tam döngü alınarak voltamogramlar elde edildi. Daha sonra çalışma elektrotu yakılarak temizlendi ve film gelişimi için 10 tam döngü alındı. Platin elektrot yüzeyinde elde edilen kompozit filmler 50 °C’de etüvde kurutuldu.

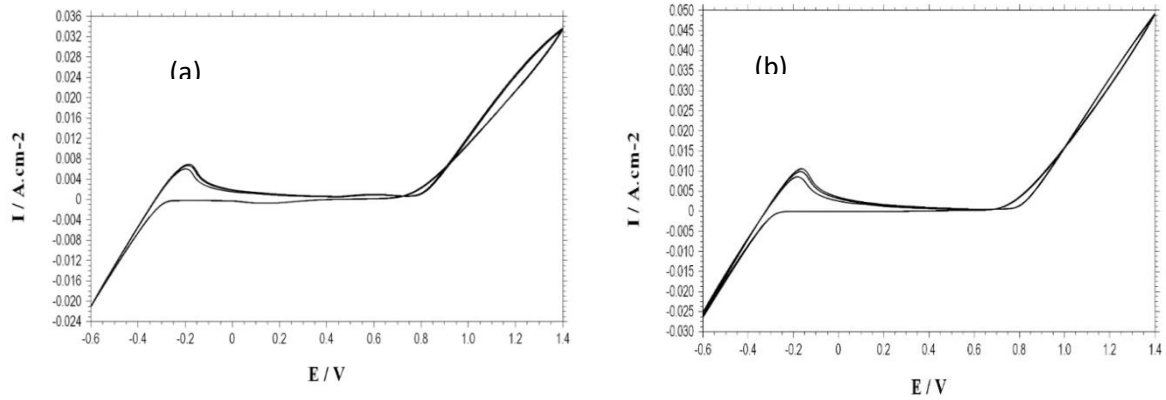
Sentezlenen kompozit Filmlerinin FT-IR analizleri Shimadzu IRAffinity-1S model FTIR spektrometresi ile ATR yöntemi kullanılarak 400-4000 cm^{-1} ’de gerçekleştirildi. Analizden önce metal yüzeyine kaplanan filmler bir neşter ile yüzeyden sıyrılarak alındı. SEM görüntüleri Jeol Scanning Electron Microscope-5500LV cihazı kullanılarak direkt metal yüzeyinde alındı. Kompozit filmlerin elektrokimyasal kararlılığının belirlenmesinde sentezde kullanılan CHI 604E marka model elektrokimyasal analiz cihazı kullanıldı ve dönüşümlü voltametri tekniği ile üç elektrot yöntemi uygulandı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kompozit Filmlerin Elektrokimyasal Sentez Sonuçları

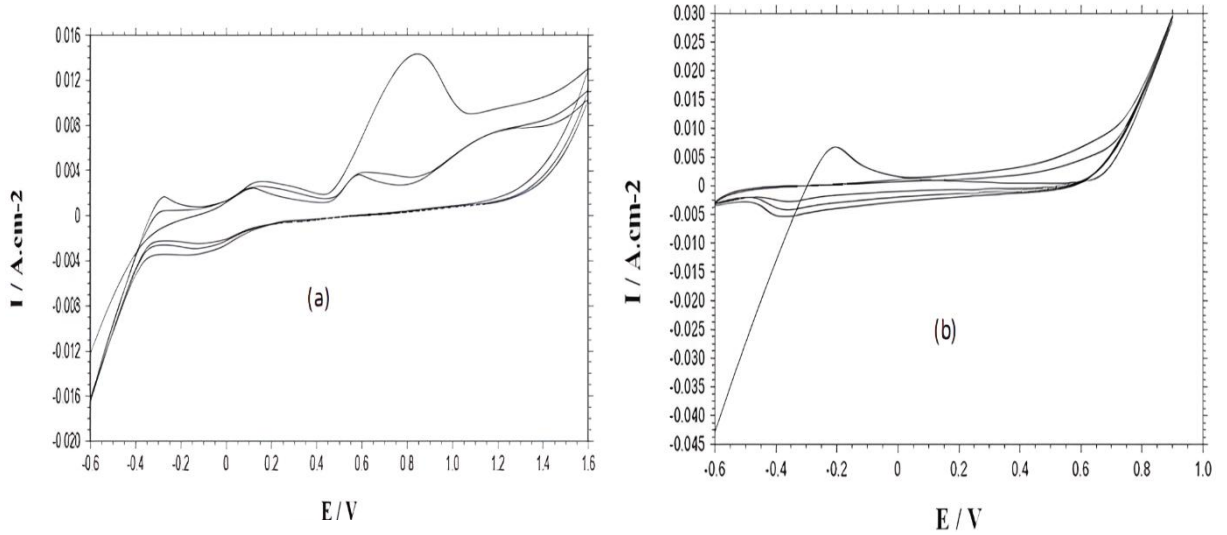
Kompozit filmlerin platin elektrot yüzeyindeki elektrokimyasal sentez işlemleri dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak gerçekleştirildi. İlk önce karakterizasyon amaçlı 0,3 M okzalik asit çözeltisinde -0,6-1,6 V potansiyel aralığında 3 tam döngü alınarak voltamogramlar elde edildi. Daha sonra yapılan deneylerde kompozit film gelişimi için uygun potansiyel aralığı 0,2-1,6 V olarak belirlendi. Film gelişimi için aynı çözeltilde 20 tam döngü alındı.

Metal yüzeyine kaplanacak filmlerin sentez mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle film sentezinde elektrolit ortamı olarak kullanılan çözeltideki elektrokimyasal davranışlarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bunun için kompozit sentezinden önce elektrolit olarak kullanılan kitosansız ve kitosanlı 0,3 M okzalik asit ortamlarında dönüşümlü voltamogramlar alınarak Şekil 2’de verildi.



Şekil 2. Pt elektrota ait 0,3 M okzalik asit (a) ve 0,1 g kitosan içeren 0,3 M okzalik asit (b) çözeltilerinde 50 mV/s tarama hızında alınan dönüşümlü voltamogramlar

Platin elektrotun çalışılan elektrolit ortamındaki voltamogramı incelendiğinde, -0,3 V civarında anodik yönde bir pik görülmektedir. Bu pik yüzeye tutunan hidrojen gazının yükseltgenmesinden ($H_2 \rightarrow H^+$) kaynaklanmaktadır. Ayrıca katodik yönde görülen pik ise hidrojenin yükseltgenmesinden oluşan H^+ iyonlarının indirgenmesiyle ($H^+ \rightarrow H_2$) yani tekrar hidrojen gazı oluşumuyla ilgilidir. Bunun yanında 0,8 V civarında da hızlı bir akım artışı meydana gelmektedir. Bu artış oksijen gazı çıkışından kaynaklanmaktadır (Tüken ve ark., 2004). Platin elektrotun kitosan çözünmüş elektrolit ortamdaki davranışlarını belirlemek amacı ile elde edilen voltamograma bakıldığında ise, Pt elektrota ait okzalik asit çözeltisinde elde edilen voltamogram ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. İşlem sırasında her iki ortamda da (kitosanlı ve kitosansız) elektrotun yüzeyinde aşırı hidrojen ve oksijen gaz oluşumları meydana geldiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kitosan biyopolimerinin yeterli elektro aktiviteye sahip olmadığını ve beklenildiği gibi tek başına elektrokimyasal yöntemle elektrot yüzeyine kaplanmadığını yani herhangi bir film meydana getirmediğini açık bir şekilde göstermiştir. O-Aminofenol ile kitosan, pirol ile kitosan ve 5:5 mol oranında o-aminofenol, pirol ile kitosan içeren 0,3 M okzalik asit çözeltilerinde alınan voltamogramlar Şekil 3'te verilmiştir.

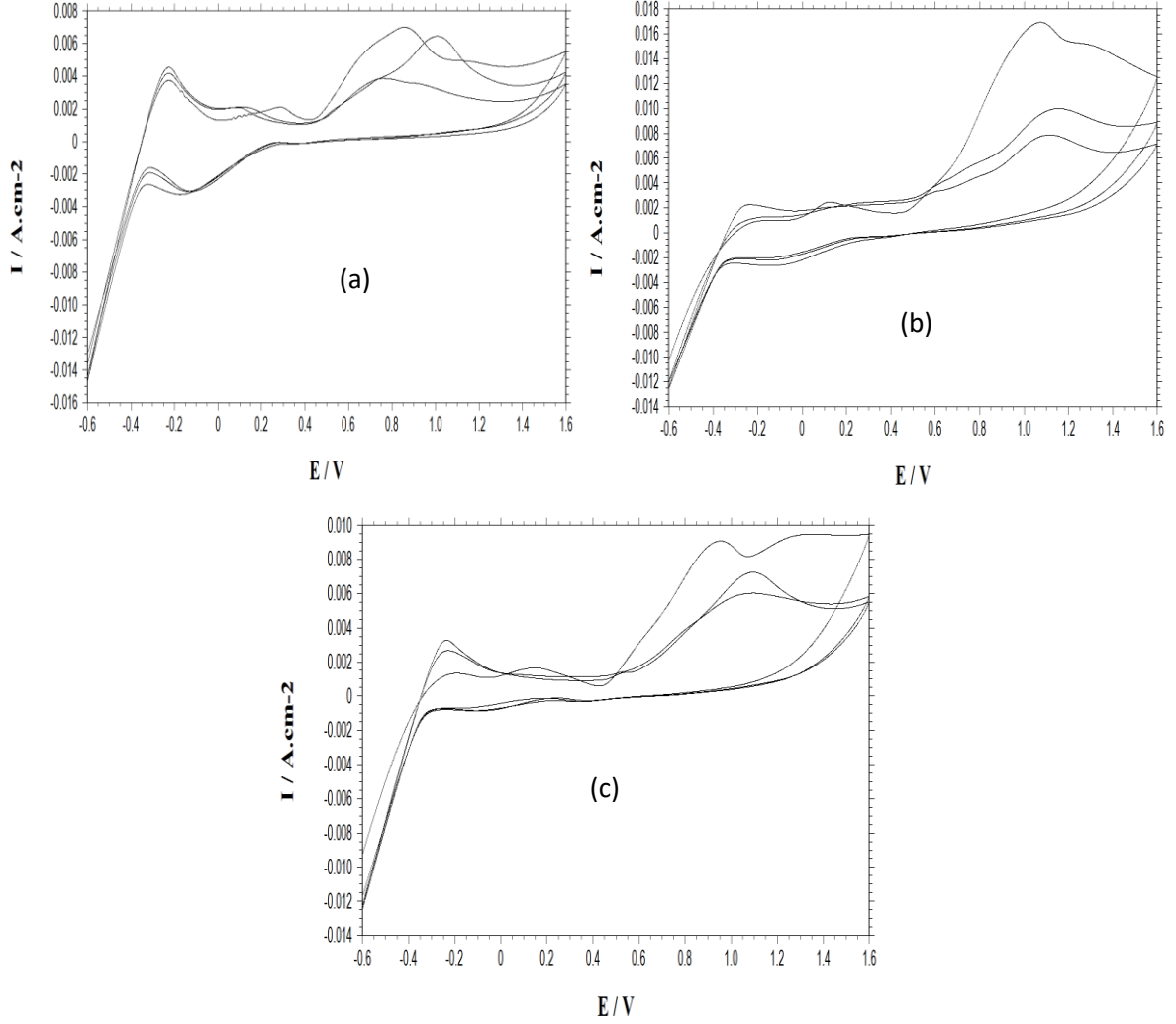


Şekil 3. Pt elektrota ait 0,1 M o-aminofenol ile 0,1 g kitosan (a) 0,1 M pirol ile 0,1 g kitosan (b) içeren 0,3 M okzalik asit çözeltilerinde 50 mV/s tarama hızında alınan dönüşümlü voltamogramlar.

O-Aminofenol içeren voltamogram (Şekil 3a) ile pirol içeren voltamogram (Şekil 3b) kıyaslandığında birbirlerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. O-Aminofenol voltamogramında monomer oksidasyonunu 0,4 V civarında başlamışken pirol içeren voltamogramda (Şekil 3b) monomer oksidasyonunun 0,6 V civarında başladığı görülmektedir. Voltamogramlar arasındaki diğer önemli farklılık -0,6 V ile -0,2 V arasında hidrojen gaz çıkışına ait bölgede gözlenmektedir. O-Aminofenol içeren çözeltide alınan voltamogramda her üç döngüde de şiddetli bir şekilde hidrojen gaz çıkışına ait akım değişimleri görülürken pirol içeren çözeltide alınan voltamogramda birinci döngüden sonra hidrojen gaz çıkışına ait akım değişimlerinin sabitlendiği görülmektedir. Bu durum pirol monomeri

içeren çözeltide yüzeyin hızlı bir şekilde kapandığını ancak *o*-aminofenol monomeri içeren çözeltide yüzeyin üç döngü sonunda bile çok yavaş kapandığını göstermektedir. Buna göre pirol monomerinin polimerizasyon hızı, *o*-aminofenol monomerinin polimerizasyon hızından daha büyüktür sonucuna varılır.

Farklı oranlarda monomer içeren (pirol: *o*-aminofenol; 8:2, 6:4, 1:1, 4:6, 2:8) içeren 0,3 M okzalik asit çözeltisinde üç tam çevrim alınarak karakterizasyon amaçlı elde edilen voltamogramlar Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

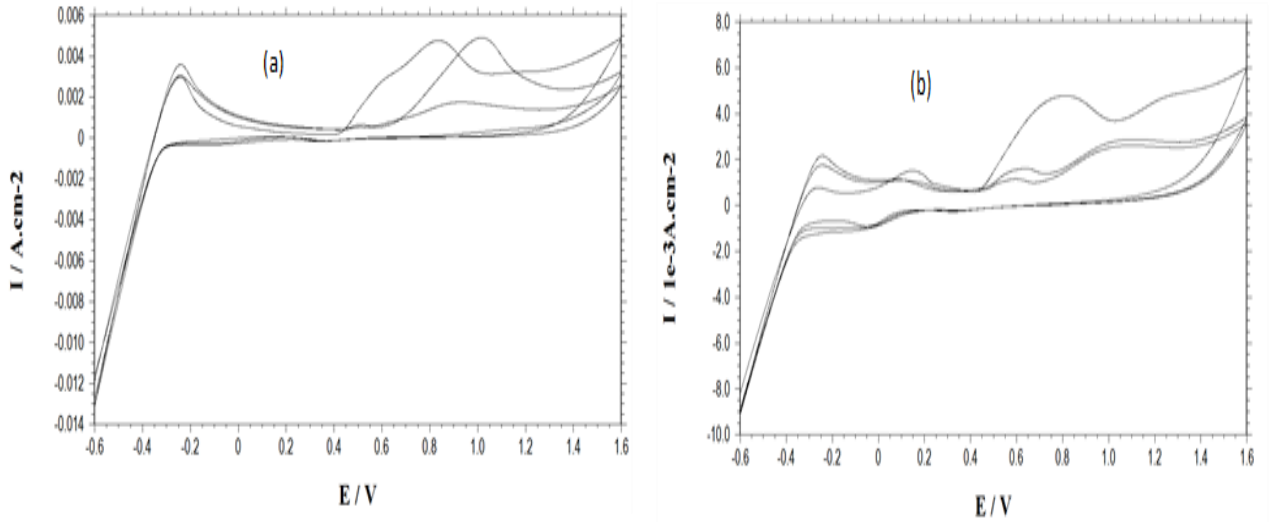


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Pt elektroda ait 0,08 M pirol , 0,02 M *o*-aminofenol ile 0,1 g kitosan(a) 0,06 M pirol, 0,04 M *o*-aminofenol 0,1 g kitosan (b) ve 0,05 M pirol , 0,05 M *o*-aminofenol ile 0,1 g kitosan(c) içeren 0,3 M okzalik asit çözeltilerinde 50 mV/s tarama hızında alınan dönüşümlü voltamogramlar.

Voltamogramlar analiz edildiğinde voltamogramların monomer olarak sadece *o*-aminofenol içeren okzalik asit çözeltisindeki voltamograma (Şekil 3a) benzediği görülmektedir. Monomer olarak sadece pirol içeren voltamogramda (Şekil 3b) monomer oksidasyonu 0,6 V dolaylarında başlamışken, *o*-amino fenol ve pirol karışımı içeren çözeltilerde alınan bütün voltamogramlarda monomer

oksidasyonu, monomer olarak sadece *o*-aminofenol içeren çözeltide alınan voltamograma benzer şekilde 0,4 V civarında başlamaktadır. Bunun yanında monomer olarak sadece pirol içeren çözeltide -0,6 V ile -0,2 V arasında ilk çevrimde görülen ve sonra sabitlenen hidrojen gazı çıkışına ait akım değişiminin sadece *o*-aminofenol içeren çözeltide alınan voltamogramda ve monomer karışımı içeren çözeltilerde alınan voltamogramlarda sonraki çevrimlerde de devam ettiği görülmektedir. Bu durum *o*-aminofenol monomerinin kompozit oluşumunda pirol monomerinden daha etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca *o*-aminofenol monomerinin polimerizasyon hızının pirol monomerinin polimerleşme hızından daha yavaş olduğu şeklinde de yorumlanabilir.

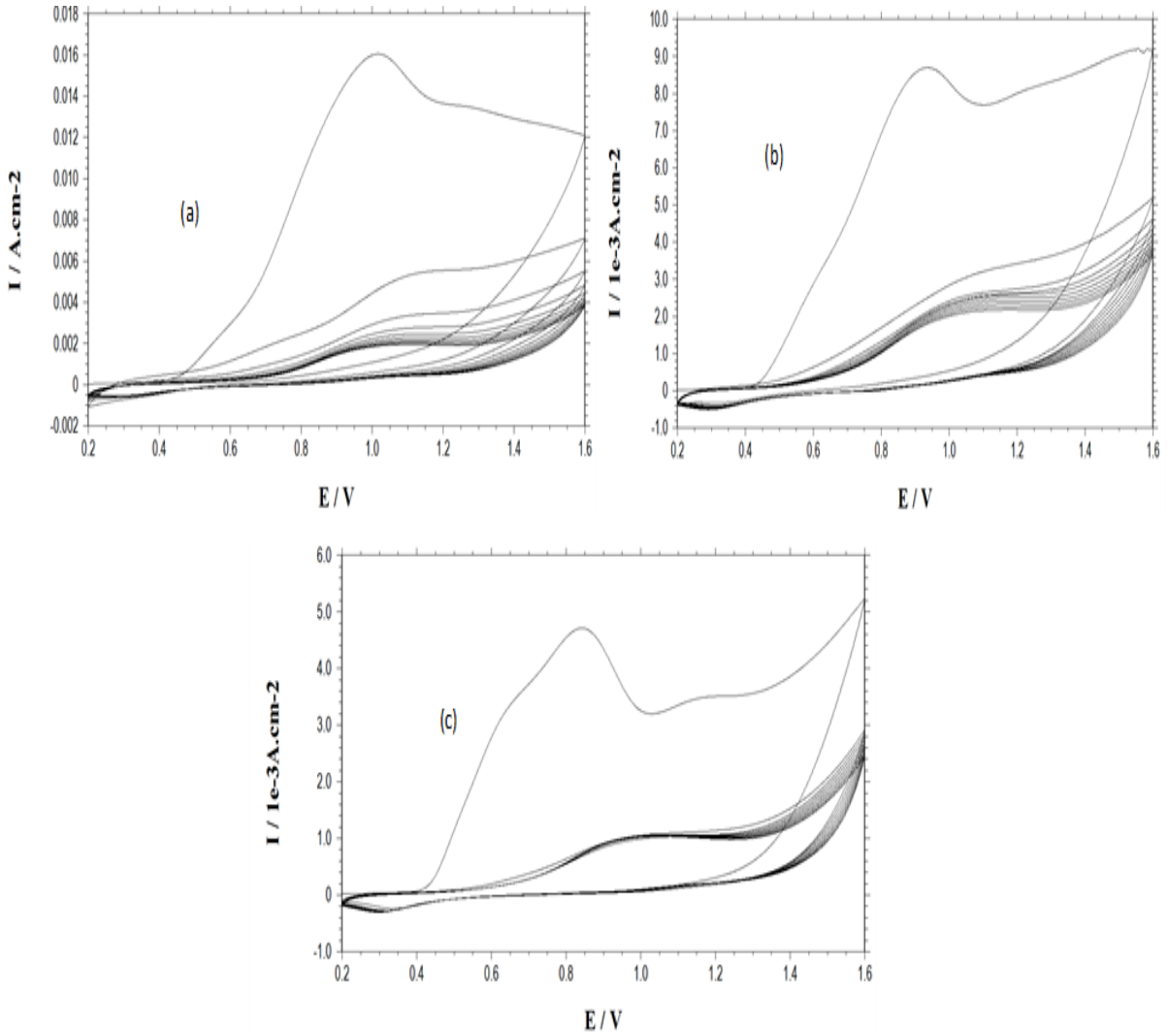
Monomer olarak sadece pirol içeren çözeltide alınan voltamogramda literatürde de bilindiği üzere polipirol yüksek potansiyelerde bozduğu için (Tüken ve ark., 2004) çevrim alınırken 1 V değerine kadar potansiyel uygulanmıştır. Ancak yapılan deneysel çalışmalarda *o*-aminofenol monomerinin 1,6 V değerinden daha düşük potansiyelerde yüzeyde kayda değer bir film oluşturmadığını yani tamamen polimerizasyonun gerçekleşmediği belirlendi. Bu yüzden kompozit film oluşumu için aynı potansiyel değerine kadar uygulama yapılması gerekliliği ortaya konmuş oldu. Belirlenen bu sonuç uygulamada polipirole göre kompozit filmi ile film bozunmadan daha yüksek potansiyelerde çalışılabileceğini göstermektedir. Bu durum özellikle sensor uygulamalarında kompozit filminin polipirole göre destek materyal olarak daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.



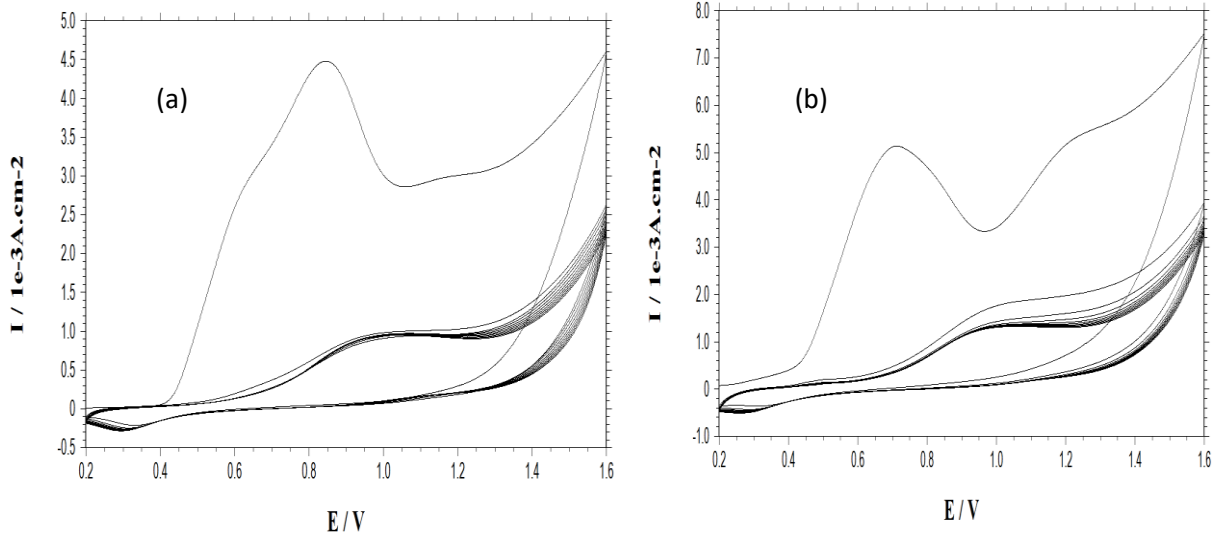
Şekil 5. Pt elektrota ait 0,04 M pirol, 0,06 M *o*-aminofenol ile 0,1 g kitosan(a), 0,02 M pirol, 0,08 M *o*-aminofenol ile 0,1 g kitosan(b) içeren 0,3 M okzalik asit çözeltilerinde 50 mV/s tarama hızında alınan dönüşümlü voltamogramlar.

Platin elektrot yüzeyinde farklı monomer mol oranları içeren çözeltilerde (pirol: *o*-aminofenol; 8:2, 6:4, 5:5, 4:6 ve 2:8) hazırlanan kompozit örneklerinin film gelişimlerine ait voltamogramlar Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Voltamogramlar incelendiğinde bütün voltamogramlarda ilk çevrimden sonra büyük bir akım düşüşü meydana geldiği görülmektedir. İlk döngüden sonra yüzeyde film oluşumunun başlaması ile akım düşüşü yavaşlamakta ve yüzeyde film gelişimi devam ederken bu

akım düşüşü giderek azalmaktadır. 20 tam döngü sonunda yüzeyde kalıcı ve yüzeyi homojen bir şekilde kapatan kompozit filmlerinin oluştuğu görülmektedir. Film gelişim voltamogramlarında dikkat çekici diğer önemli bir nokta ise; 0,2 V ile 0,6 V arasında ileri ve geri dönüşümlerde gözlemlenen akım değişimleridir. Bu akım değişimleri yüzeyde oluşan iletken kompozit filmlerinin redoks (yükseltgenme-indirgenme) davranışları ile ilgilidir. Kompozit filmlerin elektrokimyasal davranışlarını daha duyarlı bir şekilde incelemek için bu akım değişimlerinin gözlemlendiği potansiyel aralıkları (0,2 V- 0,6 V) dikkate alınarak voltamogramlar elde edildi.



Şekil 6. Farklı monomermol oranlarındaki çözeltilerde [8:2 (a), 6:4 (b) ve 5:5 (c)] 50 mV/s tarama hızı uygulanarak, platin elektrot yüzeyinde elde edilen kompozit örneklerinin film gelişimlerine ait voltamogramlar.

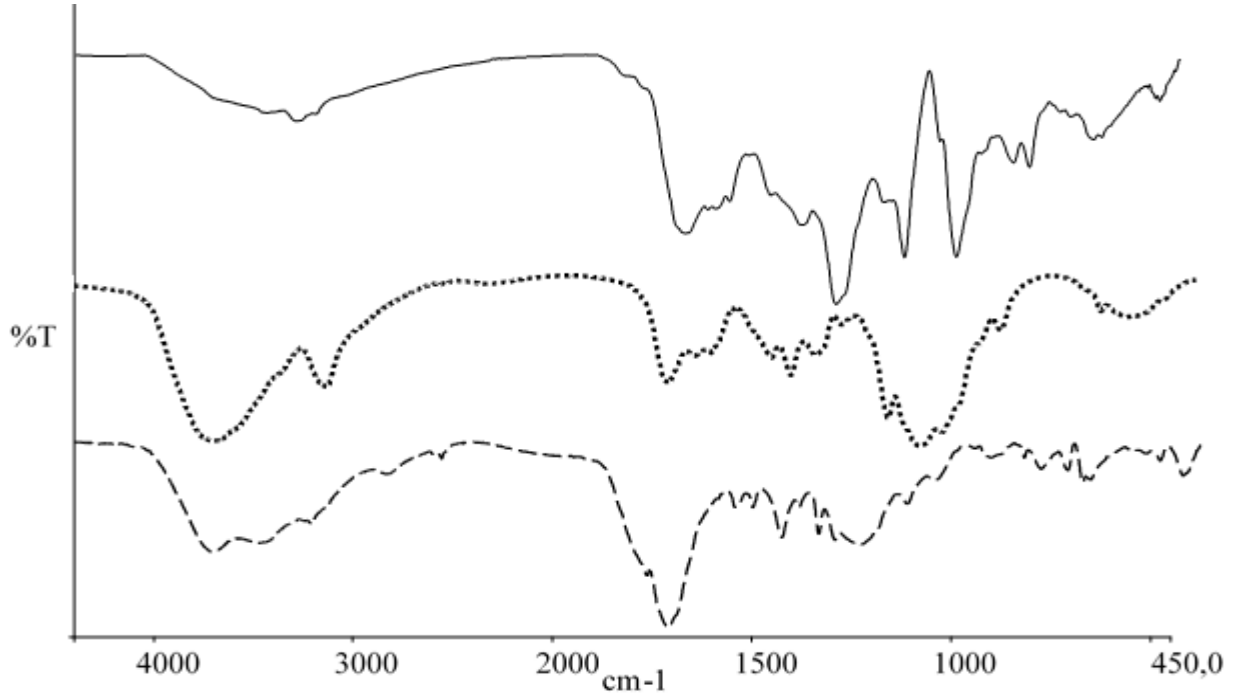


Şekil 7. Farklı monomer mol oranlarındaki çözeltilerde [4:6 (a), 2:8 (b)] 50 mV/s tarama hızı uygulanarak, platin elektrot yüzeyinde elde edilen kompozit törneklerin film gelişimlerine ait voltamogramlar

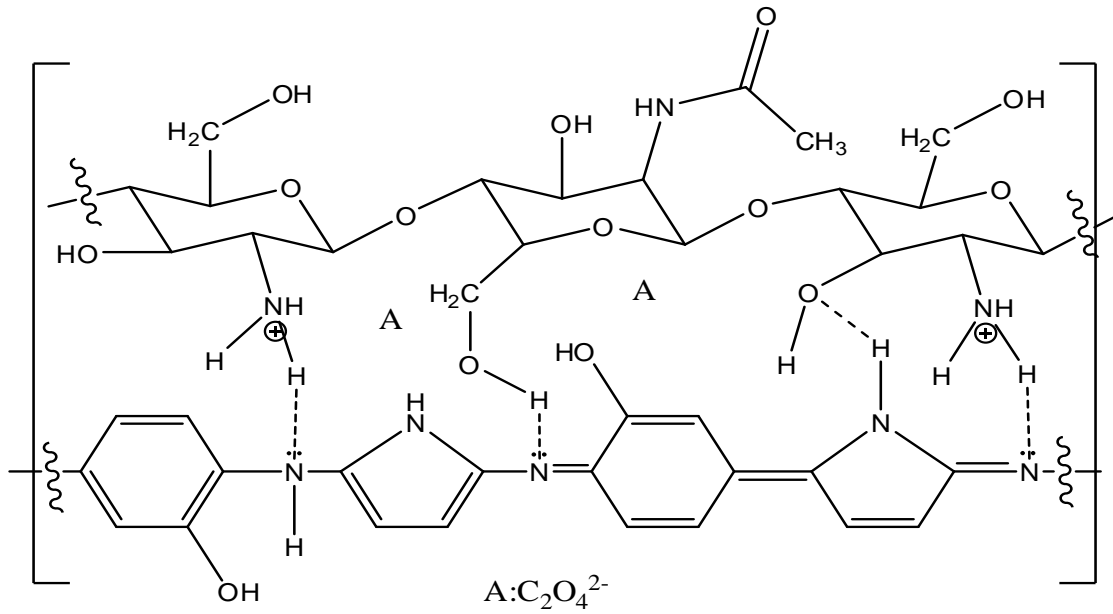
3.2. Kompozit Filmlerine Ait FT-IR Analiz Sonuçları

Kitosan, kopolimer (1:1) film ve kompozit (1:1) filmine ait FT-IR spektrumları Şekil 8’de verilmiştir. Kitosan ve kopolimer filmine ait spektrum kıyaslama amaçlı verilmiştir. Verilen üç spektrum kıyaslandığında ilk olarak ön plana çıkan farklılık kitosanın spektrumunda görülen 3380 cm^{-1} civarlarında ortaya çıkan N-H gerilmelerine ait keskin pikin kopolimer spektrumunda görülmezken kompozit filmine ve kitosana ait spektrumlarda çok belirgin bir şekilde ortaya çıkmasıdır. Bu pikin kopolimer spektrumunda görülmezken kitosan ve kompozit filminin spektrumlarında görülmüş olması kitosanın film sentezi sırasında yapıya katıldığını yani kompozitin oluştuğunu gösteren önemli bir kanıttır. Kompozit filminin oluşumuyla ilgili diğer önemli bir kanıt ise pirol ve o-amino fenol monomerlerinin yapısında bulunan ve 3200 cm^{-1} civarında ortaya çıkan molekül içi N-H gerilme titreşimlerine ait pikin hem kopolimerin hem de kompozitin spektrumunda ortaya çıkmasıdır. Kitosanın spektrumuna bakıldığında 1655 cm^{-1} civarında kitosanın asetil birimlerinden kaynaklanan karakteristik C=O gerilmelerine ait piki görülmektedir. Bu pik kompozit spektrumunda, kopolimere ait spektrumda görülen 1563 cm^{-1} ve 1582 cm^{-1} bölgesindeki benzenoid ve quonoid halkaların pikleri ile çakışarak kompozitin spektrumunda 1656 cm^{-1} dolaylarında daha geniş ve daha keskin bir pik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu pikin kompozit spektrumunda kopolimer ve kitosan spektrumlarından farklı olarak bu şekilde ortaya çıkmış olması kompozit oluşumuna dair güçlü bir kanıt niteliindedir. Bunun yansısı kitosanın 1320 cm^{-1} bölgesinde amino gruplarının C-N gerilmesine ait pik, 1150 cm^{-1} dolaylarında görülen β (1-4) glikozit köprüsünün spesifik bandı ve 1050 cm^{-1} dolaylarında ortaya çıkan C-O-C gerilme titreşimine ait pikin, kopolimerin spektrumunda görülmezken sırasıyla kompozit filminin spektrumunda 1316 cm^{-1} , 1120 cm^{-1} ve 1050 cm^{-1} dolaylarında gözlenmiş olması kompozitin oluştuğunu teyit etmektedir. Sonuç olarak FT-IR analizleri kompozit filminin elektrokimyasal

yöntemle platin elektrot yüzeyinde oluştuğunu güçlü bir şekilde kanıtlamaktadır. FT-IR analiz sonuçları dikkate alındığında elektrokimyasal yöntemle sentezlenen kompozit filminin muhtemel yapısının daha önce kimyasal olarak sentezlenen ve literatürde verilen kompozit yapısına benzer şekilde olduğu belirlenmiştir (Yalçinkaya ve Duran; 2022). Elektrokimyasal olarak okzalik asit ortamında sentezlenen kompozit filminin muhtemel yapısı Şekil 9’da verilmiştir.



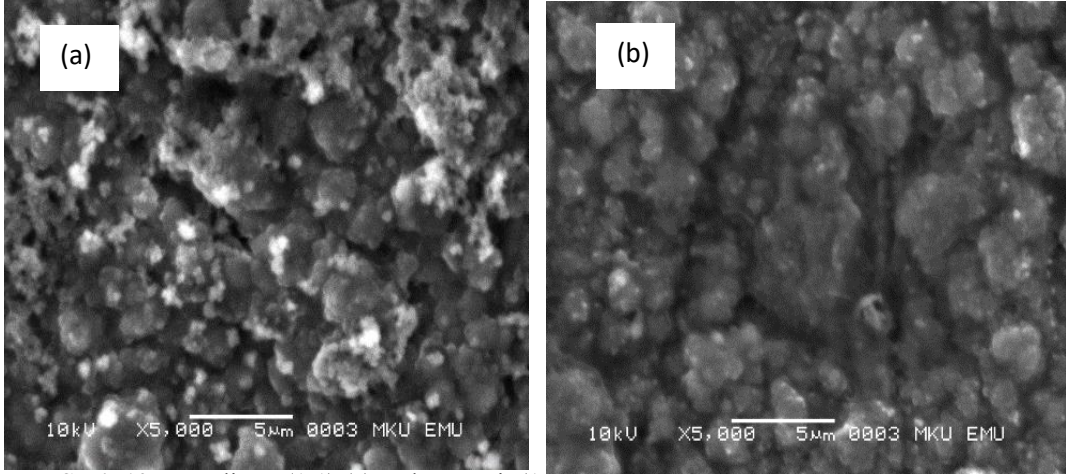
Şekil 8. Kopolimer (1:1) (—) ve kitosan (...) ve kompozit (1:1) (---) filmlerine ait FT-IR spektrumları



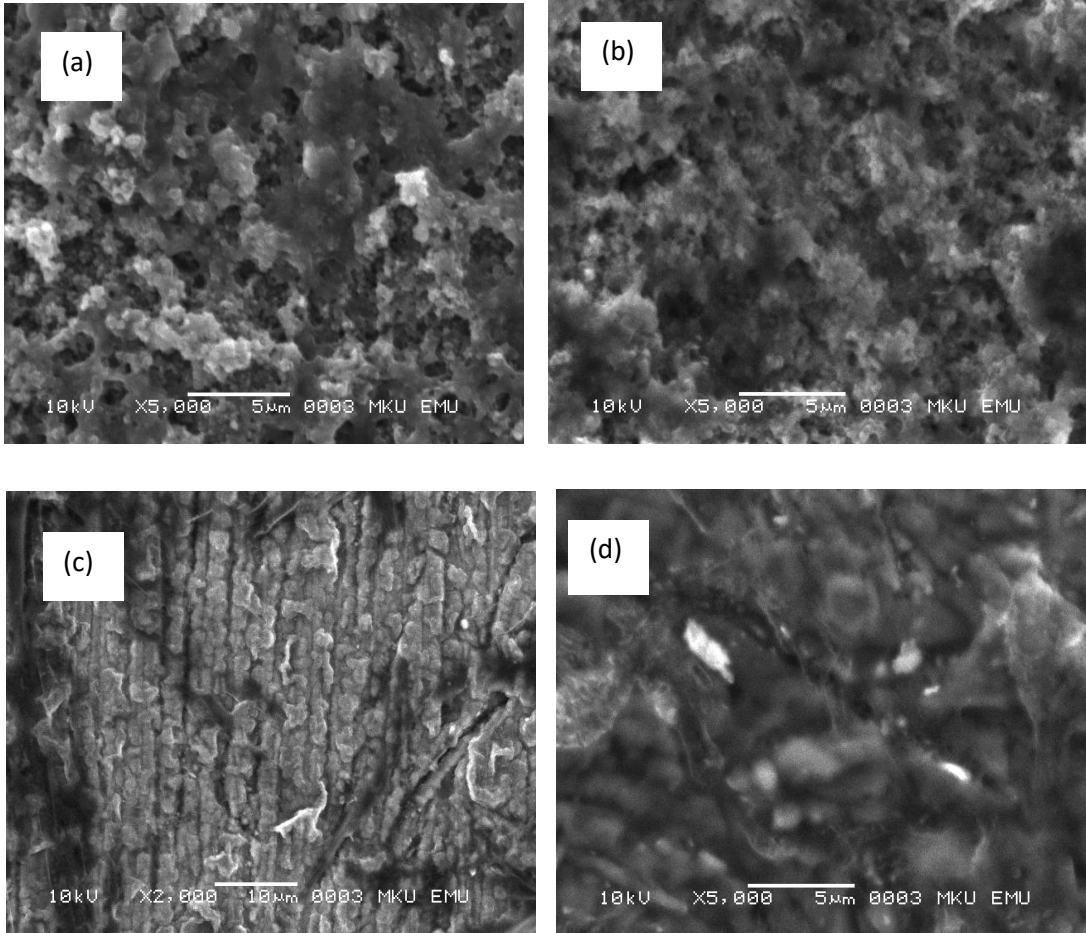
Şekil 9. Kompozit filminin muhtemel yapısı.

3.3. Kompozit Filmlerine Ait SEM Analiz Sonuçları

Elektrokimyasal yöntemle platin elektrot yüzeyine sentezlenen 5:5 monomer oranındaki poli (pirol-koo-aminofenol) kopolimer filmi ile farklı monomer oranlarındaki çözeltilerde sentezlenen kompozit filmlere ait SEM görüntüleri Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10. Kopolimer (1:1) (a) ve kompozit (1:1) (b) filmlerine ait SEM görüntüleri.



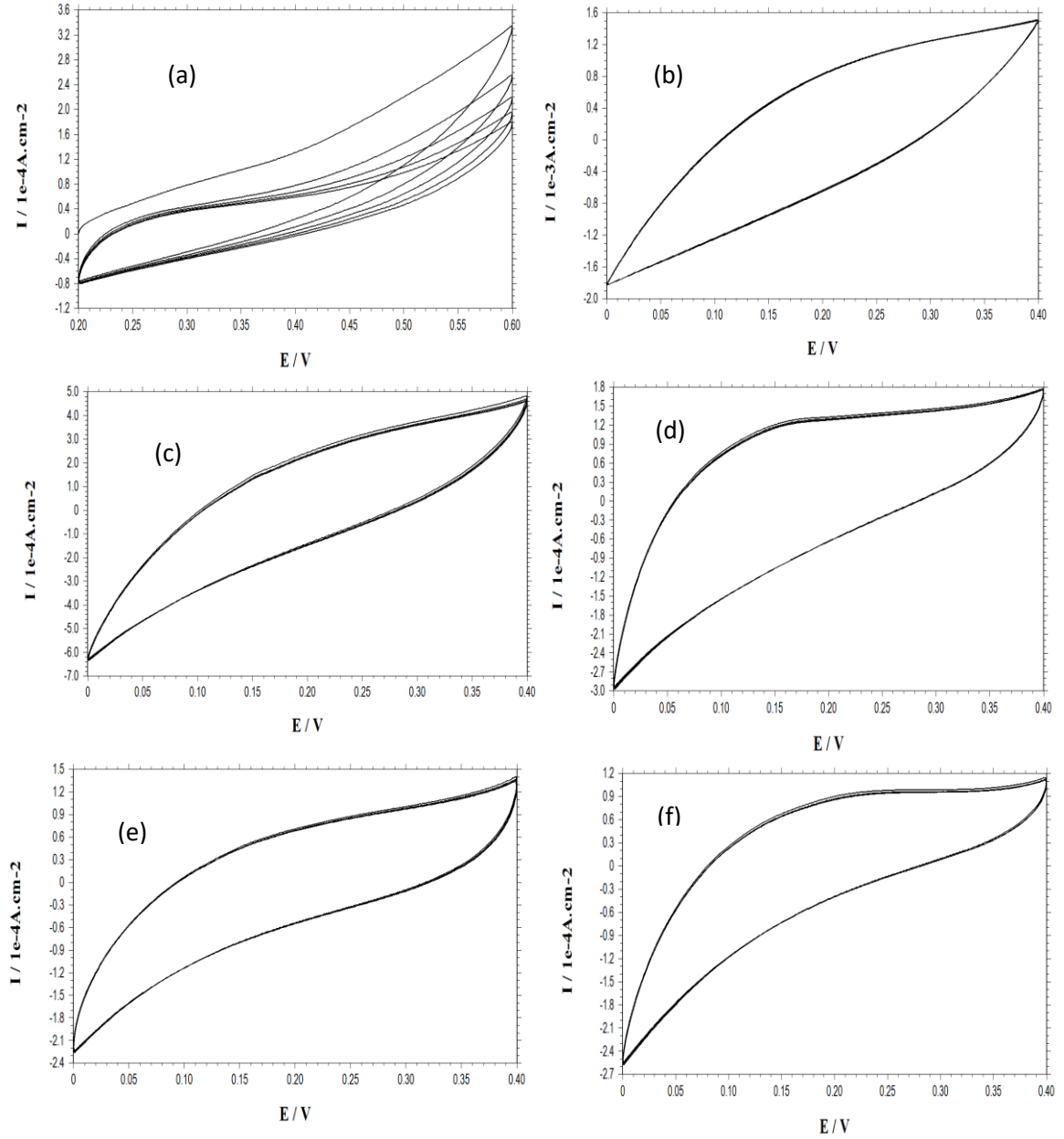
Şekil 11. Farklı monomer mol oranlarındaki [8:2 (a), 6:4 (b), 4:6 (c) ve 2:8(d)] çözeltilerde hazırlanan kompozit filmlerine ait SEM görüntüleri.

Verilen görüntüler genel olarak incelendiğinde öncelikle kopolimer filmine ait SEM görüntüsünün kompozit filmlerin SEM görüntülerinden oldukça farklı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Kopolimer filminin yüzey yapısına bakıldığında birbirine geçmiş düzensiz kürelerden oluşmuş bulut yapısında olduğu göze çarpmaktadır. Farklı monomer mol oranlarında sentezlenen kompozit filmlerin görüntüleri incelendiğinde ise kopolimer filmdeki görüntünün aksine karmaşık olmayan, daha düzenli ve daha az gözenekli yapılar görülmektedir (Talebi ve ark., 2019). Kopolimer filminin düzensiz ve bulutumsu yapısının kitosanın kopolimer yapısına katılması ile yani kompozit oluşumundan sonra daha düzenli ve daha az gözenekli yapıdaki filmlere dönüştüğü görülmektedir. Ayrıca kompozit filmlerine ait SEM görüntüleri kendi aralarında kıyaslandığında o-aminofenol miktarı az olan kompozit filmlerinin yapılarında o-aminofenol miktarı daha fazla olan kompozit filmlere göre yüzeydeki gözeneklerin daha küçük bir yapıda olduğu görülmektedir. Bunun yanında kompozit filmlerin yapılarının birinden farklı olmasına karşın Şekil 11’de verilen 4:6 oranındaki poli(pirrol-ko-o-aminofenol)/ kitosan kompozit filminin SEM görüntüsünün diğerlerine göre daha dikkat çekici önemli bir farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu orandaki kompozit filminin diğer kompozit filmlere göre yapısının sıralı ve istiflenmiş şeritlere benzediği ve bu yapıya istinaden 4:6 oranındaki poli(pirrol-ko-o-aminofenol)/kitosan kompozit filminin diğer bütün oranlardaki kompozit filmlerinin yapısına göre daha bariz bir farklılık gösterdiği söylenebilir. SEM görüntülerinden elde edilen sonuçlar kitosanın yapıya katılması ile (kompozit oluşumu) ve monomer mol oranı değiştiğinde elde edilen filmlerin yüzey yapılarının oldukça farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

3.4. Kompozit Filmlerin Elektrokimyasal Davranışları

Kıyaslama amaçlı olarak kaplamasız platin elektrotun ve platin elektrot yüzeyinde sentezlenen kompozit filmlerin dönüşümlü voltamogramları 0,1 M KCl çözeltisinde 100 mV tarama hızında alınmış ve Şekil 12’de verilmiştir. Elde edilen kompozit filmlerine ait dönüşümlü voltamogramların potansiyel aralığı sentez sırasında elde edilen voltamogramlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi bir metal yüzeyine kaplanmış iletken polimer filmlerinin elektrokimyasal olarak kararlı olduğunu söyleyebilmek için bir elektrolit çözeltisinde belli bir potansiyel aralığında alınan dönüşümlü voltamogramında ileri ve geri çevrimlerde akım değişimi gözlenmemelidir (Yalçinkaya ve Çolak, 2012). Akım değerlerinde meydana gelen akım değişimleri (yani yükselme veya düşüşler) filmin elektrokimyasal kararlılığının istenilen düzeyde olmadığını veya mevcut kararlılığının kaybedilmeye başladığını ve dolayısıyla filmin bozulduğunun bir göstergesidir. Bunun yanında iyi bir redoks özelliği gösterdiği sonucuna varmak için de ileri ve geri çevrimler arasındaki kapasitif akım değerlerinin de yüksek olması gerekir. (Yalçinkaya ve ark., 2010). Voltamogramlara bakıldığında hepsinde akım değerlerinde önemli bir akım değişiminin olmadığı görülmektedir. Bu da bütün kompozit filmlerinin aslında önemli ölçüde elektrokimyasal kararlılığa sahip olduğuna işaret

etmektedir. Bunun yanında voltamogramlar kendi aralarında kıyaslandıklarında akım değerlerinin en kararlı olduğu voltamogramın 8:2 oranındaki çözeltide hazırlanan kompozit örneğinin voltamogramı olduğu göze çarpmaktadır. Bu orandaki kompozit filminin voltamogramında kapasitif akım değerleri de yüksektir. Buna göre diğer kompozit örneklerin voltamogramlarında da akım değişimleri çok az olmakla birlikte 8:2 oranındaki kompozit filminin elektrokimyasal olarak en kararlı olduğu söylenebilir.



Şekil.12 Kaplamasız platin elektrot (a) ve farklı monomer oranlarındaki çözeltilerde [8:2(b), 6:4(c), 1:1(d), 4:6(e), 2:8(f)] hazırlanan kompozit filmlerine ait 0,1 M KCl çözeltisinde alınan dönüşümlü voltamogramlar (tarama hızı; 100 mV/s).

4. Sonuç

Kompozit örnekleri elektrokimyasal olarak üç elektrot yöntemi ile dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak farklı monomer mol oranları içeren çözeltilerde (pirol:o-aminofenol; 8:2, 6:4, 5:5, 4:6, 2:8) platin elektrot yüzeyine ince film şeklinde sentezlenmiştir. Elde edilen kompozit filmlerinin karakterizasyonu dönüşümlü voltametri, FT-IR ve SEM teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal olarak farklı monomer oranlarındaki çözeltilerde hazırlanan kompozit filmlerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde monomer mol oranı değişikçe elde edilen filmlerin yüzey yapılarının birbirlerinden farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Platin elektrot yüzeyine kaplanmış kompozit filmlerinin elektrokimyasal davranışlarının belirlenmesi için elde edilen dönüşümlü voltamogramlar incelendiğinde elektrokimyasal olarak diğer kompozit filmlerine göre en kararlı kompozit filminin 8:2 oranındaki çözeltide hazırlanan kompozit filmi olduğu sonucuna varılmıştır. Elektrokimyasal olarak platin elektrot yüzeyinde homojen bir ince film şeklinde elde kaplanan ve elektrokimyasal olarak kararlı olduğu belirlenen kompozit örnekleri çeşitli uygulamalarda örneğin; sensör uygulamalarında destek materyal olarak ya da aktif metallere (demir, bakır v.b) kaplanarak bu metallerin korozyondan korunmasına yönelik alternatif malzeme olarak kullanılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışma Şirin Duran'ın Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan yüksek lisans tez konusundan üretilmiştir.

Kaynakça

- Amiri M., Pakdel Z., Bezaatpour A., Shahrokhian S. Electrocatalytic determination of sumatriptan on the surface of carbon-paste electrode modified with a composite of cobalt/Schiff-base complex and carbon nanotube. *Bioelectrochemistry* 2011; 81(2): 81-85.
- Baghayeri M., Zare EN., Hasanzadeh R. Facile synthesis of PSMA-g-3 ABA/MWCNTs nanocomposite as a substrate for hemoglobin immobilization: Application to catalysis of H₂O₂ *Materials Science and Engineering* 2014; 39(1): 213-220.
- Balint R., Cassidy NJ., Cartmell SH. Conductive polymers: towards a smart biomaterial for tissue engineering. *Acta Biomaterialia* 2014; 10(6): 2341-2353.
- Bereket G., Duran B. Anti corrosive properties of electrosynthesized poly(m-aminophenol) on copper from aqueous phenylphosphonic acid solution. *Progress in Organic Coatings* 2009; 64(1): 57-66.
- Chen C., Sun C., Gao Y. Application of electrosynthesized poly(aniline-co-p-aminophenol) as a catechol sensor. *Electrochimica Acta* 2009; 54(9): 2575-2580.

- Guimard NK., Gomez N., Schmidt CE. Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress Polymer Science* 2007; 32(9): 876-921.
- Herrasti P., Recio FJ., Ocon P., Fatas E. Effect of the polymer layers and bilayers on the corrosion behavior of mild steel: comparison with polymers containing Zn microparticles. *Progress in Organic Coating* 2005; 54(4): 285-291.
- Hu DD., Shi QZ., Tang ZX., Fang Y., Kennedy JF. Co Salen immobilized on chitosan and its electrochemical behavior. *Carbohydrate Polymers* 2001; 45(4): 385-393.
- Huang X., Li M., Wang L., Zhu M., Menner A., Springer J. Synthesis and characterization of pyrrole and m-toluidine copolymers. *Synthetic Metals* 2001; 123(3): 435-441.
- Karthikeyan M., Sathesh Kumar KK., Elango KP. Batch sorption studies on the removal of fluoride ions from water using eco-friendly conducting polymer/bio-polymer composites. *Desalination* 2011; 267(1) : 49-56.
- Kumar AM., Suresh B., Das S., Obot IB., Adesina AY., Ramakrishna S. Promising bio-composites of polypyrrole and chitosan : Surface protective and in vitro biocompatibility performance on 316L SS implants. *Carbohydrate Polymers* 2017; 173(1):121-130.
- Mazumdar SK. *Composites manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering* 2002; New York.
- Poron A., Rannou P. Processible conjugated polymers: from organic semiconductors to organic metals and super conductors. *Progress Polymer Science* 2002; 27(1):135.
- Talebi A., Labbaf S., Karimzadeh F. A conductive film of chitosan-polycaprolactone – polypyrrole with potential in heart patch application. *Polymer Testing* 2019; 75(1): 254-261.
- Tüken T., Arslan G., Yazıcı B., Erbil M. The corrosion protection of mild steel by polypyrrole/polyphenol multilayer coating. *Corrosion Science* 2004; 46(11): 2743-2754.
- Uygun A., Öksüz L., Yavuz AG., Gulec A., Sen S. Characteristics of nanocomposite films deposited by atmospheric pressure uniform RF glow plasma. *Current Applied Physics* 2011; 11(2): 250-254.
- Uzun D., Balaban Gündüzalp A., Hasdemir E. Selective determination of dopamine in the presence of uric acid and ascorbic acid by N,N'-bis(indole-3-carboxaldehyde)-1,2-diaminocyclohexane thin film modified glassy carbon electrode by differential pulse voltammetry. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2015; 747(15): 68-76.
- Yalçınkaya S., Demetgül C., Timur M., Çolak N. Electrochemical synthesis and characterization of polypyrrole chitosan composite on platinum electrode its electrochemical and thermal behaviors. *Carbohydrate Polymers* 2010; 79(4): 908-913.
- Yalçınkaya S., Çolak N. Synthesis and characterization of poly (Aniline-co-o-amino aniline). *Designed Monomers and Polymers* 2012; 15(2): 147–157.
- Yalçınkaya S., Çakmak D. Electrochemical synthesis of poly (pyrrole-co-o-anisidine)/chitosan composite films. *Journal of Molecular Structure* 2017; 1135(6): 32-43.

Yalçinkaya S., Çakmak D. Immobilization of CoII-(N,N'-bis(salicylidene)-2-aminobenzylamine) on Poly(pyrrole-co-o-anisidine)/Chitosan Composite Films: Application to Electrocatalytic Oxidation of Catechol. *Electroanalysis* 2021; 33(3): 755-765.

Yalçinkaya S., Duran Ş. Chemical synthesis and characterization of poly (pyrrole co o aminophenol) / chitosan composite. *Polymer Bulletin*, 2022; Baskıda.

Stacked Heterogeneous Ensemble Learning Model in Mixed Convection Heat Transfer from a Vertically Oscillating Flat Plate

Selma AKCAY^{1*}, Selim BUYRUKOGLU², Unal AKDAG³

¹Cankiri Karatekin University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 18100, Cankiri

²Cankiri Karatekin University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, 18100, Cankiri

³Aksaray University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 68100, Aksaray

¹ <https://orcid.org/0000-0003-2654-0702>

² <https://orcid.org/0000-0001-7844-3168>

³ <https://orcid.org/0000-0002-1149-7425>

*Corresponding author: selmaakcay@karatekin.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 08.04.2022

Accepted: 21.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Oscillation

Flat plate

Heat transfer

Stacked ensemble

Machine learning

ABSTRACT

This study analyses the effects of mixed convection heat transfer from a moving vertical flat plate with an experimental and stacked heterogeneous ensemble learning approach. In the experimental work, the effects on both natural and forced convection of dimensionless oscillation amplitude (A_o), dimensionless oscillation frequency (Wo) and Rayleigh number (Ra) are investigated. In the experiments, the vertical movement of the plate is provided by a flywheel-motor assembly. The average Nusselt numbers (Nu) on the fixed plate and the moving plate surface were obtained. Additionally, this study is focused on predicting heat transfer of a moving flat plate using single-based algorithms (Gradient Boosting, AdaBoost, Multilayer Perceptron) and a stacked heterogeneous ensemble learning model. The statistical performance of the single-based algorithms and the stacked ensemble model is measured in the prediction of mixed convection heat transfer. The results show that the stacked-based ensemble learning model yielded the $MSE = 2.01$, $RMSE = 1.42$, $MAE = 1.1$ and $R2 = 0.99$ values. Overall, this study reveals that the proposed stacked ensemble machine learning model can be used successfully for modelling the convection heat transfer of a moving plate.

Dikey Salınlı Düz Bir Levhadan Karışık Taşınım Isı Transferinde Yığılmış Heterojen Topluluk Öğrenme Modeli

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.04.2022

Kabul tarihi: 21.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Salınım

Düz levha

Isı transferi

Yığılmış topluluk

Makine öğrenmesi

ÖZ

Bu çalışmada, hareketli dikey düz bir levhadan karışık taşınım ısı transferinin etkileri deneysel ve yığılmış heterojen topluluk öğrenme yaklaşımı ile analiz edildi. Deneysel çalışmada, boyutsuz salınım genliği (A_o), boyutsuz salınım frekansı (Wo) ve Rayleigh sayısının (Ra) doğal ve zorlanmış taşınım üzerindeki etkileri incelendi. Deneylerde, levhanın dikey hareketi volan-motor düzeneği ile sağlandı. Hareketli levha ve sabit levha yüzeyi üzerinde ortalama Nusselt sayıları (Nu) elde edildi. Ayrıca, bu çalışma, tek tabanlı algoritmalar (Gradient Boosting, AdaBoost, Multilayer Perceptron) ve yığılmış heterojen topluluk öğrenme modeli kullanarak hareketli bir düz plakanın ısı transfer tahminine odaklanmıştır. Tek tabanlı algoritmaların ve yığılmış topluluk modelinin istatistiksel performansı karışık taşınım ısı transferi tahmininde ölçülmüştür. Sonuçlar, yığılmış topluluk modelinin $MSE = 2.01$, $RMSE = 1.42$, $MAE = 1.1$ ve $R2 = 0.99$ değerlerini verdiğini göstermektedir. Genel olarak, bu çalışma, önerilen yığılmış topluluk makine öğrenme modelinin, hareketli bir levhanın taşınım ısı transferini modellemek için başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

1. Introduction

Recently, the exploration of heat transfer improvement methods has been the focus of attention for many researchers due to the increasing energy demand of the industry. Therefore, passive and active heat transfer improvement methods are often used. Application arrangements such as wavy surfaces, the addition of baffles/fins into the channel, the use of nanofluids, and the use of a vortex generator to create a turbulator effect are passive methods. This method is cheap and simple as it does not require additional power but provides limited heat transfer. In cases where higher heat transfer is required, active techniques such as electric and magnetic field applications, boundary layer suction, boundary layer injection, oscillating/pulsating flows, and moving surfaces are preferred. It has been proven that all active methods improve heat transfer. Several researchers have studied experimental, numerical and mathematical analysis to enhance convection heat transfer (Cortell, 2007; Akdag et al., 2014; Khalid et al., 2017; Koffi et al., 2017; Pradhan et al., 2017; Shah et al., 2019).

Oscillatory flows and moving surfaces are commonly used active heat transfer improvement methods since these applications are known to cause high mass and heat transfer. Oscillatory flow applications are encountered in nature and biological systems, engineering implementations, industrial, nuclear, aerospace and military fields. It is possible to encounter applications in which oscillating flows are used in many industrial fields such as chemistry, food, and nuclear, especially in the energy field such as heating and cooling. Many researchers have recently focused on oscillating flows and moving surfaces (Subhashini and Sumathi, 2014; Ashafa et al., 2017; Patil et al., 2018; Lee et al., 2019; Sarhan et al., 2019). The effects on heat transfer of the oscillations of a vertical plate were analyzed analytically (Gomaa and Al Taweel, 2005) and numerically (Uddin et al., 2015). As a result of these studies, they declared that periodic surface movements increase the heat transfer rate depending on the oscillation parameters. Khan et al. (2019) presented an analytical study investigating free convection on a perpendicular moving cylinder surface and reported that the surface temperature declined with the rising Prandtl number and Nusselt number. Neethu et al. (2021) analytically and statistically analyzed the magnetic field flow of the nanofluid passing between perpendicular porous plates moving in opposite directions. Mehta et al. (2021) experimentally studied the effects of different parameters on the thermal efficiency of closed-loop flat-plate oscillating heat pipe.

There are experimental studies in the literature for solutions to complicated heat transfer problems. Experimental studies require a very long time, and devices are pretty expensive. For this reason, numerical and analytical methods are preferred as alternative solutions. However, complex thermal problems are challenging to solve analytically. Another alternative method is to use machine learning models. One of the most popular machine learning models is artificial neural networks (ANN). ANN has been used in different studies relating to the prediction of heat transfer (Akdag et al., 2009;

Ghritlahre and Prasad, 2018). Their study focuses on ANN applications and their success in dealing with complicated thermal systems. In another study, performance parameters of flat plate solar collectors were predicted by employing an ANN, and 96.3% R² value was obtained (Kalogirou, 2006). Sozen and Arcaklioglu (2007) investigated the exergy analysis of an ejector absorption heat transformer employing ANN. This study achieved to provide 99% R² statistical result. Yang (2008) presented a review study about ANN approach for various thermal applications. Khalaj et al. (2014) measured the effect of thermohydraulic performance on passive heat transfer using an ANN approach. Mohanraj et al. (2015) presented a literature survey considering the applications of ANN for the thermal behaviour of heat exchangers. In a different study, heat transfer on a flat plate was predicted by employing ANN, and this study yielded a 0.363 MAE score (Akdag et al., 2016). The proposed ANN also provided a convincing R² score (99%). An ANN approach was also created to investigate the nanofluids flow in a microchannel heat sink (Tafarroj et al., 2017) and the ANN provided a 99% R² score. Ghritlahre and Prasad (2018) presented a comparative study to predict the heat transfer from roughened absorber plate to air passing using the ANN and Linear Regressor. The used ANN provided a better MAE (0.316) score than the Linear Regressor. Koroleva et al. (2020) investigated heat transfer enhancement performance using computational fluid dynamics and artificial neural networks. 5.17×10^{-5} MSE score is obtained through the proposed approach. Akhgar et al. (2019) realized a study using ANNs to estimate the thermal conductivity of hybrid nanofluids (MWCNT-TiO₂). Abdelatif et al. (2019) investigated the natural convection on the outer surface of an elliptical tube at varying inclination angle and heat flux with experimental and ANN approach and compared the results with the literature studies. Serrano et al. (2020) examined the effect of bed materials in bubbling fluidized bed gasification using ANN method. Mirzaei and Mohiabadi (2021) studied the thermal behaviour of the flat plate solar collector with different nanofluids using ANN approach and estimated the system's performance with a deviation less than $\pm 2\%$ method. Alkanhan (2021) conducted a study to examine the thermal conductivity of graphene oxide with ANNs approach, and the results were found to have an error range 2.27%. Malika and Sonawane (2021) carried out a study to estimate the thermal conductivity of hybrid nanofluids (Fe₂O₃-SiC) using an artificial neural network approach and response surface methodology (RSM) modelling method, and the results of the ANN method were reported to be more accurate. Pare and Ghosh (2021) used the ANN approach to estimate the thermal conductivity of Al₂O₃, CuO and ZnO nanoparticles and reported that the ANN approach's results agree with the experimental study. In another study, support vector regression (SVR), random forest (RF), and ANN were used to predict the condensation frictional pressure drop and heat transfer coefficient for horizontal microchannel and macro channel flows (Hughes et al., 2021). The random forest provided the best performance with an absolute average deviation of about 4% for both models. The literature study indicates that ANNs ensure plausible results for many engineering applications. The studies mentioned above successfully obtained convincing statistical scores based on their aim and objectives by employing ANN, support vector regression and random forest. However, the

literature study shows that the Stacked Heterogeneous Ensemble Learning model has never been used in studies related to heat transfer, to the best of the authors' knowledge. Thus, this study aims to propose a Stacked Het-erogeneous Ensemble Learning model for the prediction of heat transfer with mixed convection on an oscillating plate. The effects of the different parameters such as oscillating frequency (Wo), oscillating amplitude (A_o) and Rayleigh number (Ra) on the mixed convection are examined, and the estimated results from the ANN model and the test results are given comparatively. A detailed explanation for the stacked ensemble approach is given in Section 3. The objectives of this study based on the aim are listed below with bullet points.

- To determine the optimal single-based algorithms to be used in the level-0 of the stacked ensemble approach.
- To determine the optimal meta-learner algorithm for the level-1of the stacked approach.
- To compare the performance of the singe-based algorithms and the proposed Stacked Heterogeneous Ensemble model in terms of RMSE, MSE, MAE and R2.

The structure of this paper is organized as follows. The experimental study is presented in the second section. In the third section, detailed information about the proposed stacked heterogeneous ensemble model is given. Results and discussion are demonstrated in the fourth section. Conclusion and future directions are given in the final section

2. Experimental Study

2.1. Experimental Schema

The schema used for the experimental study is shown in Figure 1. The experimental model consists of two flat square copper plates dimension 210 mm in thickness of 1.5 mm. The thermocouples are placed along the vertical axis on both copper plates.

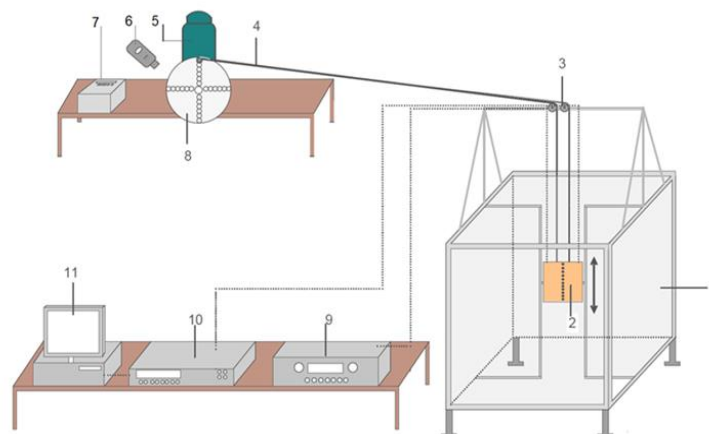


Figure 1. Experimental schema.

(1-Glass enclosure, 2- Vertical flat plate, 3- Reel system, 4- Hanger connection system, 5- Electric motor, 6- Digital speed indicator, 7- Frequency controller, 8-Fly-wheel, 9- Power unit, 10-Data acquisition system, 11- Computer).

The experimental setup and experimental model are shown in Figure 2. The thermocouples (K-type, Omega) on copper plates were attached along the perpendicular axis. The temperature data measured with thermocouples were collected by a computer-based data collection system (Keithley 2750). A specially manufactured flywheel was used for the oscillation amplitude. The flywheel was driven by a DC motor (2.4 kW). The oscillation frequency was controlled by the speed regulating unit of the motor. A detailed description of the experimental setup and evaluation method of the data are available in (Akçay et al., 2020).

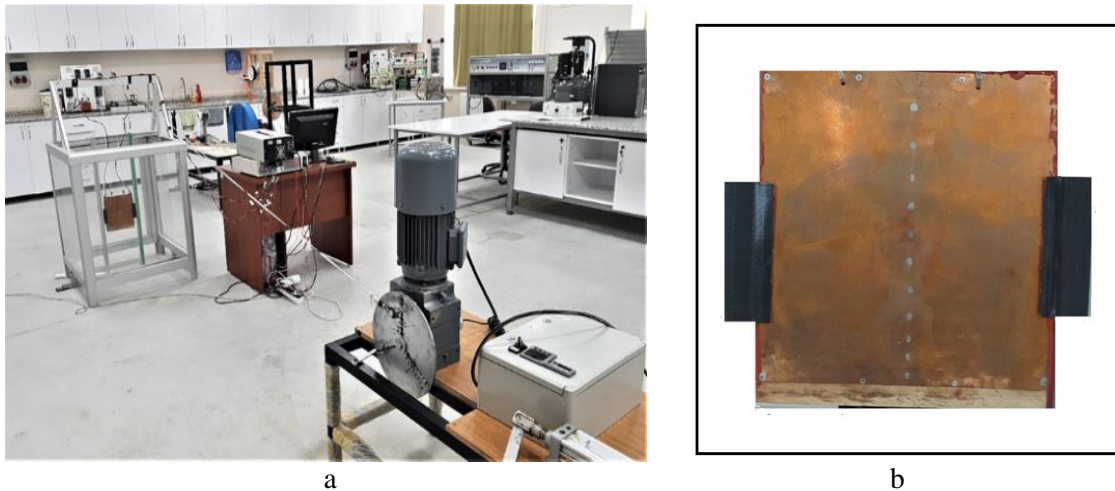


Figure 2a. Experimental setup, **b.** Experimental model.

2.2. Experimental Procedure

The heater block is assembled with copper plates and heated by Kapton heaters fed from an adjustable power supply. Three different heat fluxes, 20W, 40W, and 50W, were applied to the copper plate and the Rayleigh numbers (Ra) obtained according to these heat fluxes are 1.17×10^7 , 2.94×10^7 and 3.6×10^7 , respectively. In this study, the Rayleigh number was used to represent the heat flux applied to the plate. The heat transfer with free convection from the fixed flat plate is calculated. The temperatures on the surface are compared with open literature (Akçay et al., 2020). Then, the flat plate moves periodically within the enclosure at a specific Ra , Wo , and A_o . The plate continued its periodic motion for a specific time (3600s), after calculating the heat transfer with mixed convection from the moving surface. In the study, 60 experiments were carried out for different parameters and the used parameters are given in Table 1. The related parameters of the experimental study were explained in detail in the Reference (Akçay et al., 2020).

Table 1. Experimental parameters.

| Rayleigh number (Ra) | Oscillation amplitude (A _o) | Oscillation frequency (Wo) |
|-------------------------|--|-------------------------------|
| 1.17×10 ⁷ | 0.40, 0.75, 1.10, 1.40 | 65, 92, 113, 131, 146 |
| 2.94×10 ⁷ | 0.40, 0.75, 1.10, 1.40 | 65, 92, 113, 131, 146 |
| 3.60×10 ⁷ | 0.40, 0.75, 1.10, 1.40 | 65, 92, 113, 131, 146 |

The continuity, momentum, and energy equations for the heat transfer with mixed convection from the fixed flat plate are written as in Eqs. (1)-(3).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_{\infty}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3)$$

Due to the vertical oscillation of the plate, the surface temperatures change periodically. Using the measured temperatures over time, the average temperatures are obtained as follows;

$$T_{w,x} = \frac{1}{N\Delta t} \sum_{i=1}^N T_{w,x}(x, t) \Delta t \quad (4)$$

where, N, Δt, and T_w represent the data number, the time interval, and the instantaneous surface temperature, respectively. The average temperature on the plate is calculated as follows;

$$\bar{T}_w = \frac{T_{w1} + T_{w2} + T_{w3} + \dots + T_{w11}}{11} \quad (5)$$

The spatio-temporally averaged Nusselt number (Nu_ω) is given by

$$Nu_{\omega} = \frac{1}{\tau L} \int_{x_0}^L \int_0^{\tau} Nu(x, t) dt dx \quad (6)$$

where, τ is the cycle time and L shows the length of the plate. Furthermore, the cycle-averaged Nusselt number is obtained as follows

$$Nu_{\omega} = \frac{q''L}{k(\bar{T}_w - T_{\infty})} \quad (7)$$

where, \bar{T}_w (°C) is the average surface temperature and T_{∞} (°C) is the free temperature, q'' (W/m²) is the heat flux, k (W/mK) is the thermal conductivity. Moreover, the ratio of the heat transfer of the moving plate (Nu_{ω}) to the heat transfer of the fixed plate (Nu_s) is described as thermal effectiveness (η).

$$\eta = \frac{Nu_{\omega}}{Nu_s} \quad (8)$$

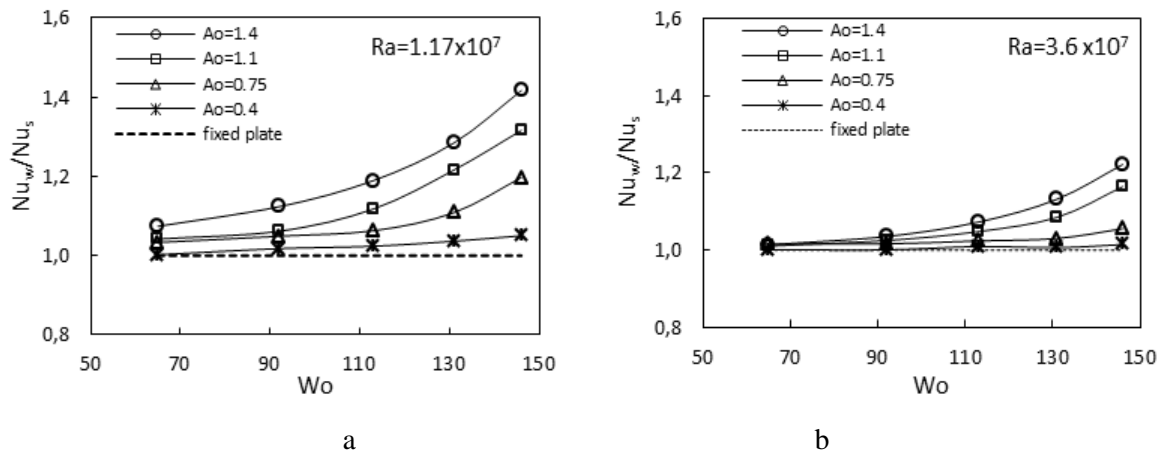


Figure 3. Variation of the thermal effectiveness for two different Rayleigh numbers.

Figure 3 shows the effects of the oscillating parameters on the effectiveness of different Rayleigh numbers. It is observed that the thermal performance factor of moving plate rises with rising oscillation parameters for all Rayleigh numbers compared to the fixed plate. Nonetheless, this rising is detected to increase with decreasing Rayleigh number. Due to the high Rayleigh number, the free convection effects are more dominant in mixed convection on the surface. The physical meanings of the experimental study were explained in detail in the Reference (Akçay et al., 2020). The present study focused on the applicability of the stacked heterogeneous ensemble learning model for the prediction of mixed convection heat transfer.

In this study, the uncertainty analysis method was applied, and the total average uncertainty of Nu is calculated to be 4.25% (Akçay et al., 2020; Holman, 2001).

3. Heterogeneous Ensemble Learning Model

This study presents a new Stacked Heterogeneous Ensemble Learning approach. The structure of the proposed stacked approach is presented in Figure 4. The rest of this section gives information about the dataset, stacked ensemble approach and scoring metrics. Initially, the dataset is split into training (80%) and test (20%) sets. Then, 10-fold cross-validation was used to evaluate the proposed model

using the training set. Additionally, the proposed model's performance estimation is obtained based on unseen (test) data.

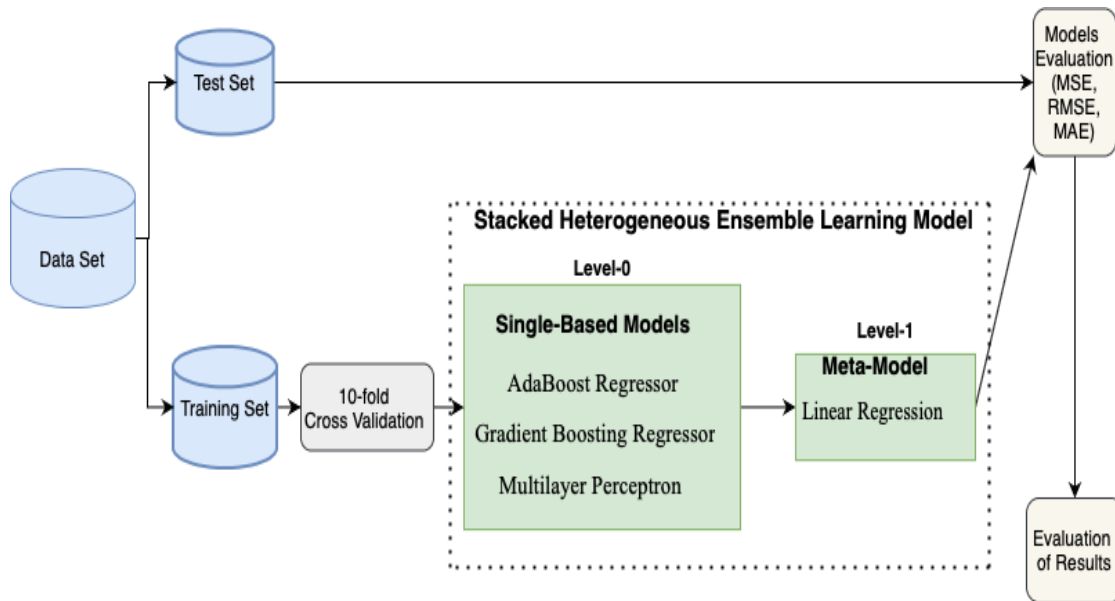


Figure 4. Proposed Stacked Heterogeneous Ensemble Learning Model.

3.1. Dataset

This study uses a dataset to determine the employed stacked ensemble model's efficiency in predicting mixed convection heat transfer for the oscillating vertical plate. The dataset consists of 60 samples and three parameters. These parameters are pulsating amplitude (A_0), pulsating frequency (Wo) and Rayleigh number (Ra). Detailed experimental data are given in Table 1.

3.2. Stacked Ensemble Approach

A stacked ensemble learning model means the combination of two levels (level-0 and level-1) to obtain a convincing performance compared to the single-based learning models. Machine learning algorithms are used in these two levels (Zhou, 2021; Buyrukoglu and Savas, 2022). Single-based models are used in level-0, and the algorithm used in level-1 is named a meta-model. There should be used only one machine learning algorithm in level-1 as a meta model. In the background of any stacked ensemble learning algorithm, the meta model uses the outputs of the single-based models as an input in level-1. In the end, the meta-model enables a final regression or classification score.

In this study, two different boosting ensemble learning models and multilayer perceptron (MLP) are employed in level-0 as single-based ensemble learning models. The employed boosting ensemble learning algorithms are AdaBoost Regressor, and Gradient Boosting Regressor. Then, Linear Regression is used as a meta-model in level-1. Different machine learning algorithms were tried to use the optimum model in level-1. Linear regression, MLP, and random forest models were used, and the best performance was obtained through linear regression. Thus, Linear Regression was used in level-1

in the proposed Stacked Heterogeneous Boosting Ensemble approach. The rest of this section gives information about the employed models in the proposed approach.

3.2.1. AdaBoost Regressor

The AdaBoost algorithm has two types which are AdaBoost. R1 and AdaBoost. R2. AdaBoost. R1 is proposed for the classification problems, while AdaBoost. R2 is proposed for the regression problems. It means that it can be used for classification and regression (Buyrukoglu and Akbas, 2022). In this study, AdaBoost. R2 is used for the prediction of mixed convection heat transfer. In the training process, only one decision stump is initially used as a weak learner. This algorithm aims to find misclassified data and add more weights to be used in the subsequent decision stump. Then, the same process is carried out in the second decision stump. This process is repeated until to obtain the desired result from the AdaBoost algorithm (Buyrukoglu et al., 2021). Finally, we created the AdaBoost model with 60 estimators in this study to predict mixed convection heat transfer.

3.2.2. Gradient Boosting Regressor

Gradient Boosting algorithm is developed for classification and regression issues like the AdaBoost. In the gradient boosting ensemble learning algorithm, the processes of the AdaBoost and Gradient Boosting ensembles learning algorithms are the same. However, there is a difference in the use of the loss function. The AdaBoost algorithm is sensitive to outliers because the exponential loss function is minimized in this algorithm. In contrast to AdaBoost, the Gradient Boosting ensemble learning algorithm is more robust to outliers than AdaBoost. The reason is that any differentiable loss function can be used in gradient boosting ensemble learning (Natekin and Knoll, 2013). In this case, the Gradient Boosting ensemble algorithm can be considered more flexible than the AdaBoost. In our case, the proposed Gradient Boosting regressor structure includes the following hyperparameters. The number of estimators is 60, and the learning rate of the model is 0.1.

3.2.3. Multilayer Perceptron

Multilayer perceptron (MLP) is a feed-forward neural network consisting of several layers, including input, hidden and output. Backpropagation is used in the training process of an MLP network. Also, if an MLP network includes more than one hidden layer, it is considered a deep neural network. It is used to solve different problems requiring supervised learning (Tang et al., 2015; Buyrukoğlu, 2022). Figure 5 illustrates the proposed MLP network structure. As shown in Figure 5, two hidden layers are used, and the number of neurons for these hidden layers are 6 and 3 respectively. In creating the proposed MLP network, 3000 iterations were used as a result of a case study to obtain the optimal result. Sigmoid activation function has been used in these hidden layers. Also, the dropout method is used because it effectively reduces the overfitting in neural networks. In other words, randomly selected neurons are dropped during the training process when the dropout method is used (Srivastava

et al., 2014). It can be used for both input and any hidden layers. This study uses the dropout method only for the first hidden layer, and the value is determined as 0.5.

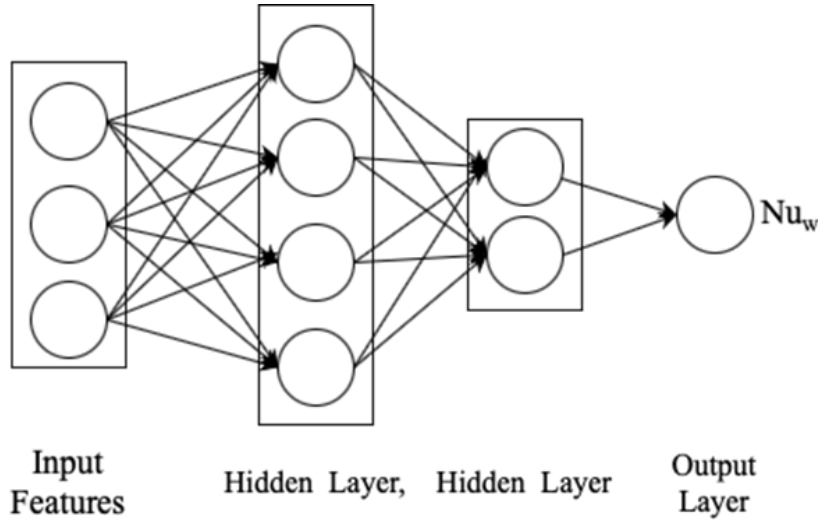


Figure 5. Structure of the proposed Multilayer Perceptron.

3.2.4. Linear Regressor

Linear Regression is used as a meta-model (level-1) in this study. Linear Regression has two types of regressions, which are simple and multi-linear regression (Buyrukoglu, 2021). A single predictor is used in simple linear regression, while more than one predictor is used in multiple linear regression. Due to the usage of more than one predictor in the prediction of mixed convection heat transfer, multi-linear regression is used in this study.

3.3. Scoring Metrics

Three different scoring metrics are used to evaluate the success of the employed models presented in the previous section. These metrics are mean squared error (MSE), root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) (Chicco et al., 2021). These metrics are calculated as

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - \hat{P}_i| \quad (11)$$

where P_i is the actual value, \hat{P}_i is the predicted value from the model and n is the number of observations.

4. Results and Discussion

This section initially provides information about the evaluation performance of the employed algorithms (Section 4.1). Then, results about the AdaBoost and MLP models' efficiency in creating the stacked ensemble model are given in Section 4.2, separately. Moreover, actual and predicted values obtained through the employed models are compared in Section 4.3. Then, a comparison of previous studies and current models is presented to reveal the efficiency of the stacked ensemble learning model in Section 4.4. Finally, the result of the scoring metrics of the proposed stacked ensemble learning is given based on a different dataset in Section 4.5.

4.1. Evaluation Results of the Employed Studies

Table 2 presents the statistical performance of the employed single-based models and the stacked-based ensemble learning algorithms. It is noted that the presented scores are test scores of these models. As seen in Table 2, the best performance in predicting heat transfer of a moving flat plate is obtained through the proposed heterogeneous stacked ensemble learning model (MAE:1.1, RMSE:1.42, MSE:2.01, and R2:0.99). On the other hand, the Gradient Boosting algorithm provided the worst performance in the prediction of heat transfer of a moving flat plate.

Table 2. Statistical performance measures for the ANN approach.

| Model | MSE | RMSE | MAE | R2 |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|
| Stack | 2.016 | 1.420 | 1.106 | 0.998 |
| MLP | 3.518 | 1.876 | 1.398 | 0.996 |
| AdaBoost | 18.756 | 4.331 | 1.837 | 0.979 |
| Gradient Boosting | 14.636 | 3.826 | 2.851 | 0.983 |

Creating the MLP, AdaBoost and Gradient Boosting models is essential to obtain a convincing result using the stacked ensemble learning model. In this sense, different iterations in MLP and estimators in AdaBoost are tried to obtain an optimal Stacked Ensemble Learning Model. The following section gives information about the efficiency of the iterations (in MLP) and estimators (in AdaBoost) in creating an effective stacked model in the prediction issues.

4.2. Use of MLP and AdaBoost in the Creation of an Effective Stacked Ensemble Model

Figures 6 and 7 illustrate the MAE scores of the stacked ensemble learning model based on the used different number of iterations in MLP (Figure 6) and estimators in AdaBoost (Figure 7). As presented

in Figure 6, the lowest MAE score (1.1) for the stacked model is obtained using the 3000 iterations in MLP. On the other hand, the worst MAE performance (1.69) is obtained when the used number of iterations is 500. The MAE scores between the used 500 and 3000 iterations were slightly reduced from 1.69 to 1.1. Also, the MAE score remained stable when more iterations were used from the 3000 iterations. Hence, 3000 iterations are used in the MLP to obtain the optimal MAE value from the stacked model.

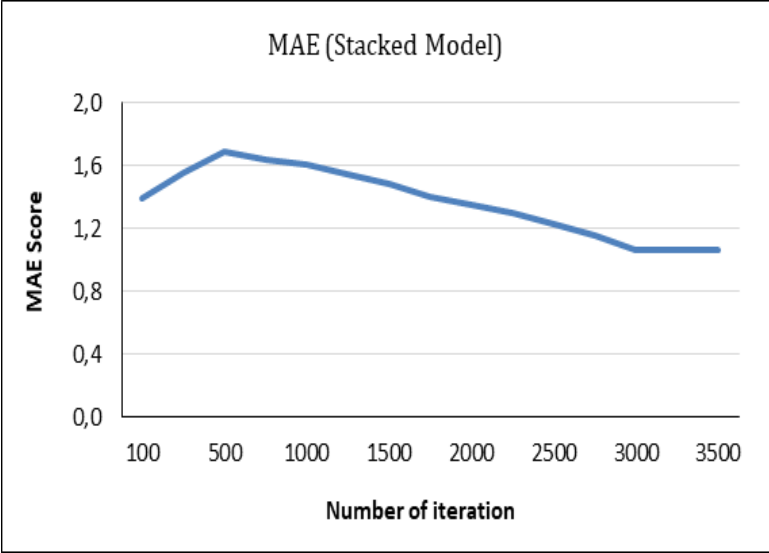


Figure 6. MAE scores of Stacked Model based on different iterations used in MLP.

It should be highlighted that the number of estimators is kept as 60 in the AdaBoost while the number of different iterations in the MLP were trying to get the best MAE score from the stacked ensemble model. This is because the best MAE score is obtained from the stacked models when the 60 estimators are used in the AdaBoost. However, different estimators in AdaBoost were tried in determining the optimal number of estimators, as illustrated in Figure 7. The worst MAE score (1.25) for the stacked ensemble model was obtained when AdaBoost's used number of estimators is between 10 and 40. It means that the MAE score of the stacked model remained stable when the used number of estimators was 10, 20, 30, and 40, respectively. The MAE score of the stacked model is slightly reduced when the number of iterations is increased from 40 to 60. Then, the best MAE score (1.1) of the stacked model is obtained using 60 estimators in AdaBoost. However, the MAE score of the stacked model remained stable even if the used number of estimators was increased from 60 to 100. Thus, the optimal estimator number used in AdaBoost is accepted as 60. Moreover, the number of iterations used in MLP was kept at 3000 while the number of different estimators in AdaBoost tried to get the best MAE score from the stacked ensemble model.

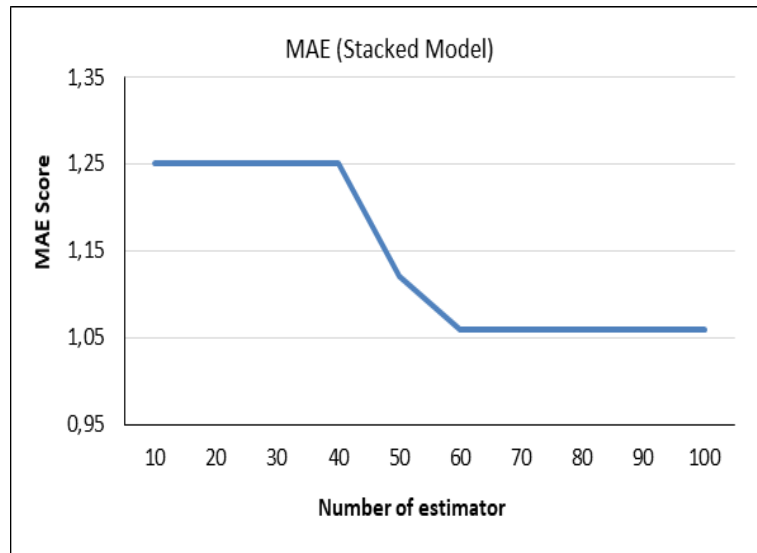


Figure 7. MAE scores of Stacked Model based on different estimators used in AdaBoost.

4.3. Results on the Actual and Predicted Value from the Employed Models

Actual and the predicted values obtained from the employed MLP, AdaBoost, Gradient Boosting, and Stacked Heterogeneous Ensemble Learning model are given in Figure 8. Figure 8 shows that the lowest differences between the actual and predicted were observed with the Stacked Ensemble Learning model. However, some of the employed algorithms (especially MLP and AdaBoost) have less difference between the actual and predicted value compared to the stacked ensemble in some points. For example, MLP provided better results for the samples numbered from 28-31 and 49-51 compared to the stacked ensemble. AdaBoost was also achieved to provide better results for the samples numbered between 31-33 compared to the stacked ensemble. Significantly, the AdaBoost algorithm has the worst performance between the actual and the predicted data points for the samples numbered from 1-18 compared to the samples numbered from 18-60. It can be considered as a usual situation because of the working principle of the AdaBoost presented in Section 3.2.1.

Overall, even if the MLP and AdaBoost provided better performances for the samples in some points compared to the stacked model, as shown in Figure 8, the stacked ensemble learning model outperformed the others in general. The results show that the proposed stacked ensemble learning model can be used to predict heat transfer of a moving flat plate.

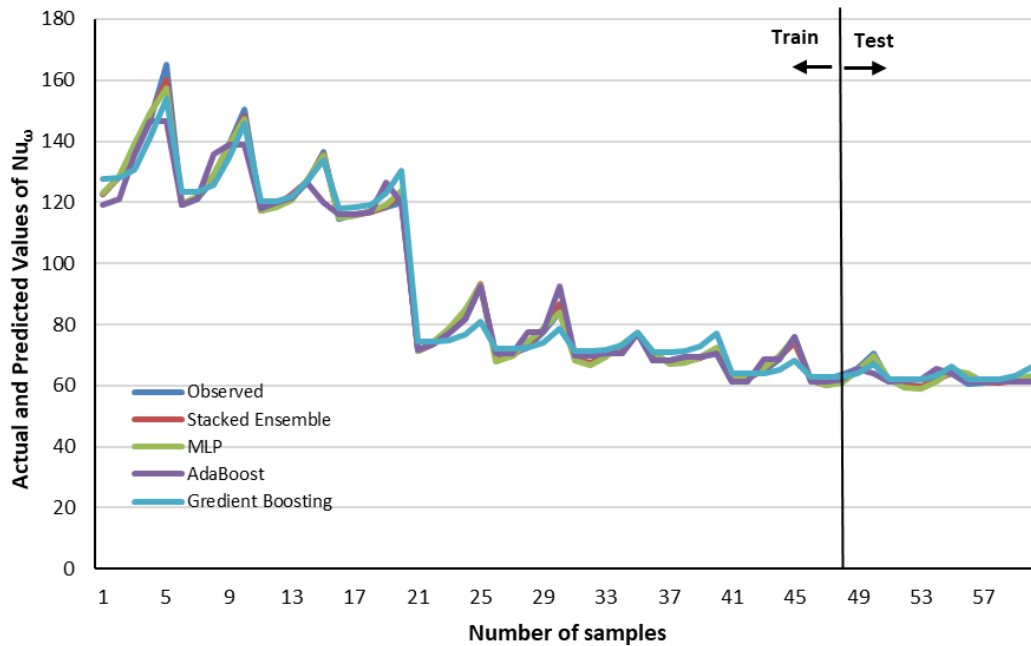


Figure 8. Actual and the predicted values obtained from the employed MLP, AdaBoost, Gradient Boosting, and Stacked Heterogeneous Ensemble Learning model.

4.4. Comparison of Previous Studies and Current Models

As highlighted in Section 1, many studies about the prediction of heat transfer have been proposed using machine learning algorithms. Also, most of these studies were created using ANN, while some of the studies created different machine learning algorithms. Table 3 shows the studies with similar aims and objectives to ours.

A study proposed by Akdag et al. (2016). is developed to predict heat transfer on a flat plate using ANN. In this study, a single hidden layer was used to create the ANN, which can be considered a limitation. More than one single hidden layer could be used behind the use of a single hidden layer to determine the optimal neural structure. Also, many researchers have specified that the use of more than one hidden layer in the classification and regression problems may accelerate the ANN accuracy performance. Not using the proposed neural structure's dropout method can be considered a second limitation. Instead, it could be used to obtain better statistical results. This study provided a 0.363 MAE value. In a different study (Ghritlahre and Prasad, 2018), Artificial Neural Networks and Linear regressors were developed to predict the heat transfer from roughened absorber plate to air passing. Even if the ANN provided better MAE performance (MAE: 0.316) than the linear regressor, there are some limitations in the creation of ANN. The limitations are the same as those of ANN created by Akdag et al. (2016). Another study was also proposed by Koroleva et al. (2020) to investigate heat transfer enhancement performance using computational fluid dynamics and artificial neural networks. 5.17×10^{-5} MSE score is obtained through the proposed approach. Even if more than one hidden layer was used in the creation of the ANN, the dropout method has not been used to improve the

performance of the proposed ANN model, and Kalogirou (2006) employed ANN, including three hidden layers without using the dropout method in the prediction of the performance parameters of flat plate solar collectors. This model achieved to obtain a 96.3% R2 value.

Table 3. Previous studies and the proposed approach.

| Literature | Method | Aim | Result |
|-------------------------------|--|---|---------------------------|
| Akdag et al., (2016) | ANN | Estimate of the heat transfer for pulsating flow using ANN | MAE: 0.363 |
| Ghritlahre and Prasad, (2018) | MLP | Prediction of the thermal performance from roughened absorber plate to air passing | MAE: 0.316 |
| Koroleva et al., (2020) | CFD + ANN | Analysis of heat transfer improvement using CFD and ANN | MSE: $5.17 \cdot 10^{-5}$ |
| Kalogirou, (2016) | ANN | The prediction of the performance parameters of flat plate solar collectors using ANN | R2: 0.963 |
| The proposed approach | Stacked Approach Level 1: MLP AdaBoost, Gradient Boosting Level 2: Linear Regressor | Prediction of mixed convection heat transfer on oscillating plate | MAE: 1.1 |

Even if the studies mentioned above achieved convincing results based on their aim and objectives, they employed single-based machine learning algorithms. However, the efficiency of the stacked ensemble learning model has never been measured in the prediction of mixed convection heat transfer (in the literature), to the best of our knowledge. Thus, we proposed a stacked ensemble learning model for the prediction of mixed convection heat transfer, which is the main contribution of this study. Finally, the proposed stacked model provided convincing statistical scores, as shown in Table 3. In other words, this study reveals the applicability of the stacked heterogeneous ensemble learning model for the prediction of mixed convection heat transfer.

4.5. Efficiency of the Proposed Stacked Model Using a Different Dataset

A different dataset is used to justify the employed stacked ensemble model's efficiency in predicting heat transfer for pulsating flow. The dataset consists of 96 samples and four parameters. These parameters are pulsating amplitude (A_0), Pulsating frequency (Wo), blowing ratio (M) and Reynolds number (Re) (Akdag et al., 2018). Statistical scores of the employed stacked ensemble model and single-based models are given in Table 4. As seen in Table 4, the employed stacked ensemble model provided the best statistical scores among the others. This result justifies the stacked ensemble

learning model's efficiency for predicting heat transfer using pulsating jet at the flat plate and mixed convection heat transfer for the oscillating vertical plate.

Table 4. Stacked model performances

| Model | MSE | RMSE | MAE | R2 |
|-------------------|------------|-------------|------------|-----------|
| Stack | 0.623 | 0.789 | 0.610 | 0.998 |
| Neural Network | 3.111 | 1.764 | 1.423 | 0.996 |
| AdaBoost | 7.927 | 2.815 | 1.361 | 0.996 |
| Gradient Boosting | 34.440 | 5.869 | 4.305 | 0.995 |

5. Conclusion and Future Directions

This study examines the effects of the oscillation parameters on the mixed convection heat transfer of a moving vertical plate with an experimental and a stacked heterogeneous ensemble learning model. Firstly, experimentally obtained the heat transfer for oscillation parameters and Rayleigh number on the moving plate surface. The Nusselt number increased with increasing Rayleigh number and oscillation parameters. Then, the proposed stacked heterogeneous ensemble learning model is created to estimate the mixed convection heat transfer of the plate. Some statistical scoring metrics interpret the effectiveness of the stacked model. The results showed that the stacked ensemble learning model could effectively estimate the Nusselt number on a moving flat plate. The stacked model achieved to obtain convincing statistical scores (MSE = 2.01, RMSE = 1.42, MAE = 1.10, R2 = 0.99). Also, the proposed stacked model is used for predicting mixed convection heat transfer using a different dataset, and the stacked model is again achieved to provide the best statistical scores. This study reveals that the Stacked Heterogeneous Ensemble Learning model can be safely used to predict mixed convection heat transfer the average Nusselt number with high accuracy. As a further study, complex heat transfer problems can be examined by employing stacked ensemble learning or deep learning models.

Conflict of Interest: The authors declared that there is no conflict of interest.

Author's Contributions: S. Akcay: Conducting, interpreting and writing of the experimental study; S. Buyrukoglu: Conducting, interpreting and writing of Stacked Heterogeneous Ensemble Learning model approach; U. Akdag: Supervision of the experimental study.

References

Abdelatif MA., Zamel AA., Ahmed SA. Elliptic tube free convection augmentation: an experimental and ANN numerical approach. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2019; 108: 104296.

- Akçay S., Akdağ U., Palancıoğlu H. Experimental investigation of mixed convection on an oscillating vertical flat plate. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2020; 113: 104528.
- Akdağ U., Akçay S., Demiral D. Heat transfer enhancement with laminar pulsating nanofluid flow in a wavy channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2014; 59: 17–23.
- Akdağ U., Akçay S., Demiral D., Palancıoğlu H. Experimental investigation of heat transfer with a transversely pulsating jet on a flat plate. *Journal of Thermal Science and Technology* 2018; 38(2): 63-74.
- Akdağ U., Komur MA., Özgüç F. Estimation of heat transfer in oscillating annular flow using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software* 2009; 40: 864–870.
- Akdağ U., Komur MA., Akçay S. Prediction of heat transfer on a flat plate subjected to a transversely pulsating jet using artificial neural networks. *Applied Thermal Engineering* 2016; 100: 412–420.
- Akhgar A., Toghray D., Sina N., Afrand M. Developing dissimilar artificial neural networks (ANNs) to prediction the thermal conductivity of MWCNT-TiO₂/water-ethylene glycol hybrid nanofluid. *Powder Technology* 2019; 355: 602–610.
- Alkanhal TA. Comprehensive investigation of reduced graphene oxide (rGO) in the base fluid: thermal analysis and ANN modeling. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2021; 144: 2605–2614.
- Ashafa S., Ahmed AA., Sakir AA. Analytical solution of the effect of MHD inclination and unsteady heat transfer in a laminar, transition and turbulent flow of a basic gaseous micro-flow past a vertically moving oscillating plate. *American Journal of Engineering & Natural Sciences* 2017; 1(2): 30–35.
- Buyrukoglu G., Buyrukoğlu S., Topalcengiz Z. Comparing regression models with count data to artificial neural network and ensemble models for prediction of generic escherichia coli population in agricultural ponds based on weather station measurements. *Microbial Risk Analysis* 2021; 100171.
- Buyrukoglu S. A novel color labeled student modeling approach using e-learning activities for data mining. *Universal Access in the Information Society*, 2022; 1-11.
- Buyrukoglu S. Improvement of machine learning models' performances based on ensemble learning for the detection of Alzheimer disease. In *2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) 2021*; 102-106. IEEE.
- Buyrukoglu S., Akbas A. Efficiency of ensemble learning algorithms in the analysis of effects of Covid-19 pandemic on electricity consumption in Turkey. *Inspiring Technologies and Innovations*, 2022; 1(1): 9-15.
- Buyrukoglu S., Savas S. Stacked-based ensemble machine learning model for positioning footballer. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2022; 1-13.

- Chicco D., Warrens MJ., Jurman G. The coefficient of determination r-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science* 2021; 7: e623
- Cortell R. Flow and heat transfer in a moving fluid over a moving flat surface. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics* 2007; 21(6): 435–446.
- Ghritlahre HK., Prasad RK. Prediction of heat transfer of two different types of roughened solar air heater using artificial neural network technique. *Thermal Science and Engineering Progress* 2018; 8: 145-153.
- Gomaa H., Al Taweel AM. Effect of oscillatory motion on heat transfer at vertical flat surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2005; 48(8): 1494–1504.
- Holman JP. *Experimental methods for engineers*. McGraw-Hill, New York, USA; 2001.
- Hughes MT., Fronk BM., Garimella S. Universal condensation heat transfer and pressure drop model and the role of machine learning techniques to improve predictive capabilities. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2021; 179: 121712.
- Kalogirou SA. Prediction of flat-plate collector performance parameters using artificial neural networks. *Solar Energy* 2006; 80(3): 248-259.
- Khalaj AH., Chaibakhsh A., Sayyaadi H., Nasr MRJ. Thermo-hydraulic behavior modeling of passive heat transfer enhancement techniques using a soft computing approach. *Chemical Engineering Communications* 2014; 201(1): 53–71.
- Khalid A., Khan I., Shafie S. Free convection flow of micropolar fluids over an oscillating vertical plate. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 2017; 13(4): 654–658.
- Khan D., Khan A., Khan I., Ali F., Karim F., Tlili I. Effects of relative magnetic field, chemical reaction, heat generation and newtonian heating on convection flow of casson fluid over a moving vertical plate embedded in a porous medium. *Scientific Reports* 2019; 9: 400.
- Koffi M., Andreopoulos Y., Jiji L. Heat transfer enhancement by induced vortices in the vicinity of a rotationally oscillating heated plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2017; 112: 862–875.
- Koroleva AP., Kuzmenkov NV., Frantuzov MS. Application of machine learning methods for investigating the heat transfer enhancement performance in a circular tube with artificial roughness. In *Journal of Physics: Conference Series* 2020; 1675(1): 012008.
- Lee S., Chiou J., Cyue G. Mixed convection in a square enclosure with a rotating flat plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2019; 131: 807-814.
- Malika M., Sonawane SS. Application of RSM and ANN for the prediction and optimization of thermal conductivity ratio of water based Fe₂O₃ coated SiC hybrid nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2021; 126: 10535.
- Mehta K., Mehta N., Patel V. Experimental investigation of the thermal performance of closed loop flat plate oscillating heat pipe. *Experimental Heat Transfer* 2021; 34(1): 85-103.

- Mirzaei M., Mohiabadi MZ. Neural network modelling for accurate prediction of thermal efficiency of a flat plate solar collector working with nanofluids. *International Journal of Ambient Energy* 2021; 42(2): 227-237.
- Mohanraj M., Jayaraj S., Muraleedharan C. Applications of artificial neural networks for thermal analysis of heat exchangers: A review. *International Journal of Thermal Sciences* 2015; 90: 150-172.
- Natekin A., Knoll A. Gradient boosting machines, A tutorial. *Frontiers in Neuro-Robotics* 2013; 7: 21.
- Neethu TS., Areekara S., Mathew A. Statistical approach on 3D hydromagnetic flow of water-based nanofluid between two vertical porous plates moving in opposite directions. *Heat Transfer* 2021; 50: 5170–5197.
- Pare A., Ghosh SK. A unique thermal conductivity model (ANN) for nanofluid based on experimental study. *Powder Technology* 2021; 377: 429-438.
- Patil PM., Roy M., Roy S., Momoniat E. Triple diffusive mixed convection along a vertically moving surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2018; 117: 287–295.
- Pradhan B., Das SS., Paul AK., Dash RC. Unsteady free convection flow of a viscous incompressible polar fluid past a semi-infinite vertical porous moving plate. *International Journal of Applied Engineering Research* 2017; 12(21): 10958–10963.
- Sarhan AR., Karim MR., Kadhim ZK., Naser J. Experimental investigation on the effect of vertical vibration on thermal performances of rectangular flat plate. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2019; 101: 231-240.
- Serrano D., Golpour I. Sánchez-Delgado S. Predicting the effect of bed materials in bubbling fluidized bed gasification using artificial neural networks (ANNs) modeling approach. *Fuel* 2020; 266: 117021.
- Shah NA., Ahmed N., Elnaqeeb T., Rashidi MM. Magneto hydrodynamic free convection flows with thermal memory over a moving vertical plate in porous medium. *Journal of Applied and Computational Mechanics* 2019; 5(1): 150–161.
- Sozen A., Arcaklioglu E. Exergy analysis of an ejector-absorption heat transformer using artificial neural network approach. *Applied Thermal Engineering* 2007; 27(2-3): 481-491.
- Srivastava N., Hinton G., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R. Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research* 2014; 15(1): 1929-1958.
- Subhashini SV., Sumathi R. Dual solutions of a mixed convection flow of nanofluids over a moving vertical plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2014; 71: 117–124.
- Tafarroj MM., Mahian O., Kasaeian A., Sakamatapan K., Dalkilic AS., Wongwises S. Artificial neural network modeling of nanofluid flow in a microchannel heat sink using experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2017; 86: 25–31

- Tang J., Deng C., Huang GB. Extreme learning machine for multilayer perceptron. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* 2015; 27(4): 809-821.
- Uddin MJ., Khan WA., Ismail AIM. Similarity solution of double diffusive free convective flow over a moving vertical flat plate with convective boundary condition. *Ain Shams Engineering Journal* 2015; 6(3): 1105–1112.
- Yang KT. Artificial neural networks (ANNs): A new paradigm for thermal science and engineering. *Journal of Heat Transfer* 2008; 130(9): 093001.
- Zhou ZH. Ensemble learning. In *Machine Learning*, Springer, Singapore, 2021; 181-210.

Farklı Desenli Bakır Plakaların Birleşik Jet Akışı ile Soğutulmasında Grafen Oksit (GO)-Su Nanoakışkanının Etkisi

Koray KARABULUT^{1*}, Doğan Engin ALNAK²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 58140, Sivas

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

²<https://orcid.org/0000-0003-0126-1483>

*Sorumlu yazar: kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.03.2022

Kabul tarihi: 23.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Çarpan jet-çapraz akışlı birleşik jet

Nanoakışkan

Mikroçip

Soğutma

Sayısal ısı transferi

ÖZ

Bu çalışmada, kanallarda bulunan sabit 1000 W/m^2 ısı akımlı küp ve oyuklu desenlerin su ve %0,02 hacimsel nanoparçacık konsantrasyonlu GO (Grafen Oksit)-Su nanoakışkanı kullanılarak birleşik jet akışı ile soğutulması sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal çalışma, sürekli ve üç boyutlu olarak k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın termofiziksel özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Kanallara ayrıca jet girişinden itibaren D jet giriş çapı ölçüsünde sabit bir uzaklıkta (N) 90° açılı kanatçık eklenmiştir. Kanal yükseklikleri 3D ve 6D iken akışkanların Re sayısı aralığı 5000-9000' dir. Çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğu ve kabul edilebilirliği deneysel araştırmalar sonucu elde edilen eşitlik kullanılarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir desen için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak su ve nanoakışkan için kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, birleşik jet nanoakışkan akışının hız ve sıcaklık konturu dağılımları jet-desen arası etkileşimler de göz önüne alınarak farklı kanal yükseklikleri için sunulmuştur. Bununla birlikte, kanallardaki her üç desenli yüzeyin tümü için farklı Reynolds sayılarında performans değerlendirme sayıları (PEC) ve ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık değerleri (T_m) Re = 9000 için değerlendirilmiştir. Re = 9000 ve H = 3D için GO-Su nanoakışkanlı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanalda su akışkanlı ve kanatçiksiz kanala göre küp ve oyuklu desen yüzeyleri için Nu_m değerinde sırasıyla %45,04 ve %37,11' lik artışlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, Re = 5000 değerinde ve H = 3D yükseklikli kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeylerde nanoakışkana göre %1,69 ve %1,74 daha fazla oldukları tespit edilmiştir.

Effect of Graphene Oxide (GO)-Water Nanofluid on Cooling Different Patterned Copper Plates with Combined Jet Flow

Research Article

Article History:

Received: 06.03.2022

Accepted: 23.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Combined jet with impinging jet-

cross flow

Nanofluid

ABSTRACT

In this study, the cooling of cube and cavity patterns with constant 1000 W/m^2 heat flux in the channels by combined jet flow using water and GO (Graphene Oxide)-Water nanofluid with 0.02% volumetric nanoparticle concentration was numerically analyzed. The numerical study was carried out steady and in three dimensions by using the Ansys-Fluent program with k-ε turbulence model. The thermophysical properties of the nanofluid were obtained experimentally. In addition, 90° angled fins have been added to the channels at a fixed distance (N) in the size of the D jet inlet diameter from the jet inlet. While the channel

heights are 3D and 6D, the Re number range of the fluids is 5000-9000. The accuracy and acceptability of the results obtained from the study has been proven by using the equation obtained as a result of experimental research. The results of the study were examined comparatively for water and nanofluid in the without fin and with fin conditions as the mean Nu number and surface temperature variations for each pattern in the channels. In addition, velocity and temperature contour distributions of the combined jet nanofluid flow were presented for different channel heights, taking into account the jet-pattern interactions. However, performance evaluation numbers (PEC) at different Reynolds numbers and average Nu number (Nu_m) and surface temperature values (T_m) were evaluated for Re = 9000 for all three patterned surfaces in the channels. For Re = 9000 and H = 3D, 45.04% and 37.11% increases in Nu_m value were obtained for cube and cavity pattern surfaces in the combined jet flow channel with GO-Water nanofluid and fin compared to the water flow and the without fin channel, respectively. However, PEC number values for water fluid in channels with Re = 5000 and H = 3D heights were found to be 1.69% and 1.74% higher than according to nanofluid on cubed and cavity patterned surfaces, respectively.

To Cite: Karabulut K, Alnak DE. Farklı Desenli Bakır Plakaların Birleşik Jet Akışı ile Soğutulmasında Grafen Oksit (GO)-Su Nanoakışkanının Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 655-681.

1. Giriş

Minyatürleşme, ısı sistemlerinin teknolojisi üzerinde büyük bir etkiye sahip olup ısı enerjisi sistemlerini son derece kompakt ve verimli hale getirmektedir. Modern ve yüksek güçlü kompakt elektronik bileşenlerin kullanım ömrü, onların ısı yayma kapasitesinden etkilenmektedir (Lakshminarayanan ve Sriraam, 2014).

Akıllı televizyonlardan, bilgisayarlara, buzdolaplarından, insansız hava araçları ve motorlu taşıtlara kadar günlük hayatın her aşamasında kullanım alanı olan ve gelişen teknolojiyle birlikte minyatürleşerek ısınma problemi ortaya çıkan mikroçiplerin soğutulmaları oldukça önemli hale gelmiştir. Bu elemanların soğutulmasında çeşitli soğutma teknikleri uygulanmaktadır. Çapraz akış ile soğutma yöntemi, bu tekniklerden en yaygın olarak bilinenidir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerin bütününe soğutulması esasına dayanmaktadır. Ancak, bu metot bütün devre elemanlarının soğutulması esasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerin soğutulmasında başarısız olabilir. Bir diğer soğutma yöntemi de çarpan jetle soğutmadır. Bu yöntemde, soğuk akışkan lüleyle sıcaklığı yüksek bir elemana yersel şekilde püskürtülür. Çarpan jet ile sıcaklığı yüksek bir devre bileşeninin soğutulması sağlanabilirken, devrenin bütününe soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bir elektronik devrede sıcaklıkları birbirlerinden oldukça farklı birden çok eleman bulunabilir. Bu sebeple, tek çeşit soğutma yöntemi ile bütün devreyi güvenli şekilde tutabilecek şartlara erişilmekte sıkıntı olabilir. Bu nedenle; çarpan jet ve çapraz akış soğutma yönteminin bir arada işleme alınarak birleşik jet akışı şeklinde uygulanması soğutma kapasitesi yüksek faydalı bir durum oluşturabilir. Çapraz akışla devre elemanları bir bütün olarak belirli bir aşamaya kadar soğutulabilirken, devrede sadece çok yüksek sıcaklıktaki elemanlar ise çarpan jet akışıyla noktasal olarak soğutulabilmektedir (Teamah ve ark., 2015; Kılıç, 2018).

Literatürde, yalnızca çapraz akış veya yalnızca jet akışın değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma için incelenen model daha ziyade jet akışa benzediğinden, literatür

incelemesinde daha çok jet akış üzerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, literatürde çarpan jetler hakkında birçok sayısal ve deneysel araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda ise temel olarak çarpan jetler için kullanılan akışkanın türü, akış alanına ait geometri, türbülanslı model, Reynolds sayısı, jet mesafesi ve ısı akışı gibi değişkenlerin devre bileşenlerinden olan ısı transferine etkileri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, çapraz akış ve çarpan jet akışın birlikte kullanıldığı soğutma yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olup, akışkanın kanal içerisindeki ısınmış yüzeylere yönlendirilmesiyle ilgili olarak bu çalışmada araştırıldığı gibi ayrıntılı kanal ve ısınmış yüzey tasarımlarının olduğu ve son yıllarda önemi ve kullanımı giderek artan karbon kökenli GO-Su nanoakışkanının kullanıldığı bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanmamıştır.

Kilic ve ark. (2017) bir tarafı açık ve üç tarafı kapalı kenarlardan oluşan dikdörtgen bir kanaldaki sabit ısı akılı ve bakır plakalı elektronik bileşenlerin tek bir hava jeti ile soğutulmaları üzerinde vorteks üreticinin etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Türbülanslı akış için kullandıkları Re sayısı 8000 iken; elemanlara uygulanan sabit ısı akışı değeri 1000 W/m^2 'dir. Isı transferinin girdap üreticinin yerleşimine, uzunluğuna ve açıl konumuna duyarlı olduğunu gözlemlemiştir. Kılıç ve Ullah (2021) farklı Re sayılarında ($Re = 6000-12000$) Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak sayısal olarak farklı akışkanların ($\text{Cu-H}_2\text{O}$, $\text{CuO-H}_2\text{O}$, $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, H_2O) çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde soğutma performanslarını araştırmışlardır. Suyu göre en iyi performans gösteren akışkan olan $\text{Cu-H}_2\text{O}$ nanoakışkanının ortalama Nu sayısını %6,63 artırdığını belirlemiştir. Bir diğer çalışmada; Kılıç ve Abdulvahitoğlu (2019) bir araç radyatöründe nanoakışkanlar ve dönen jetler ile sayısal olarak ısı transferini çalışmışlardır. Çalışmada, baz soğutucu olarak tüm parametreler için $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanoakışkanı seçilmiştir. Re sayısının 12.000'den 21.000'e artışı ile ortalama Nusselt sayısında (Nu) %51,3'lük bir artış elde edilmiştir. Dal ve ark. (2020) hidrostatik yataklarda nanoparçacık ilaveli yağlayıcı akışkan kullanımının yük taşıma kapasitesine etkisi teorik olarak araştırılmışlardır. Yapılan çalışma ile nanoparçacık takviyeli yağlayıcı kullanımının hidrostatik yatakların yük taşıma kapasitesini artırdığını ve yüksek hacimsel oranlar için nanoparçacık boyutunun performans etkisinin daha baskın olduğunu belirlemiştir. Hadipour ve Zargarabadi (2018) çarpan dairesel bir jet akışının sabit ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi özelliklerini, değişik jet-plaka arası oranlarında sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Farklı H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranları, Re sayıları ve jet çapı değerlerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Sabit Re sayısında jet çapı artışıyla ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Karabulut ve Alnak (2021) dikdörtgen kesitli kanallardaki çatı ve ters yamuk şeklinde iki farklı desene sahip bakır plakalı yüzeylerin farklı jet giriş genişliklerinde tek bir hava jeti akışı ile soğutulmasını sayısal olarak incelemiştir. Çalışmalarında kullandıkları jet giriş genişlikleri $0,5 D_h$ ve D_h iken jet-plaka arası uzaklıkları (H/D_h) 3 ve 6 olarak almışlardır. Sonuç olarak, $0,5 D_h$ jet genişliğinde, $H/D_h = 6$ iken $Re = 5000$ değerinde ortalama Nu sayısının çatı desenli yüzeyde ters yamuk desenli yüzeyden %25,92 daha fazla olduğunu belirlemiştir. Karabulut ve Alnak (2020), yaptıkları bir diğer çalışmada ise üç tarafı kapalı ve bir tarafı açık, jet-plaka arası uzaklığı (H/D_h) 4-10 arasında olan dikdörtgen kesitli kanallar

içerisindeki sur ve dikdörtgen şeklinde olmak üzere iki farklı desene sahip sabit ısı akılı bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferini tek bir hava jeti akışı kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları araştırma sonucunda Reynolds sayısının 4000 ve jet-plaka arası uzaklığın 4 olduğu değer için sur desenli yüzeylere göre dikdörtgen desenli yüzeylerde %31,45 daha yüksek ortalama Nu sayısı değeri tespit etmişlerdir. Demircan (2019) elektronik devre elemanından olan ısı transferini çapraz akış-çarpan jetle sayısal olarak incelemiştir. Re sayısı, jet-kanal hız oranlarının farklı değerlerinde araştırmalar yapmıştır. Çalışmasında, Re sayısı ve hız oranlarının iyileşmesiyle ısı transferinin kayda değer oranda arttığı sonucuna ulaşmıştır. Mergen (2014), 3500 W/m²'lik sabit ısı akısında elektronik bir elemandan çarpan jet-çapraz akışla olan ısı transferini incelemiştir. Sonuç olarak, jet Re sayısı/kanal Re sayısı (Re_j/Re_k) oranı azaldıkça ısı transferinin düştüğünü saptamıştır. Sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulması sayısal olarak Öztürk ve Demircan (2022) tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına göre oranları (0, 1, 2 ve 3) ve 0°, 22,5°, 45°, 67,5° ve 90° olmak üzere kanala yerleştirilen kanatçıkların farklı açıları için kanaldaki tek bir elemandan olan ısı transferi incelenmiştir. Kanal yüksekliğinin jet çapına oranı sabit ve 3 olarak alınırken, kanalda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Elemandan olan en yüksek ısı transferinin, giriş hızının kanal giriş hızına oranının 3 ve kanatçık açısının 90° olduğu durumda erişildiği belirlenmiştir. Maghrabie ve ark. (2017) kanal boyunca sıralı yedi adet devre elemanından meydana gelen bir sistemin çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu ile ısı transferini sayısal olarak değerlendirmişler ve ısı transferi üzerinde jet konumu değişikliğinin etkisini belirlemişlerdir.

Nanoakışkanların kullanıldığı jet çarpmalı çalışmalar incelendiğinde; Chang ve Yang (2014) Al₂O₃-su nanoakışkanını kullanarak jet çarpmalı akış kaynamasının ısı transfer performansını incelemişlerdir. Al₂O₃-su nanoakışkanının jet çarpma akışının ısı transferi performansının, çalışma sıvısı olarak kullanılan sudan daha kötü olduğu bulunmuştur. Isı transfer performansındaki azalmanın ısıl direncin artmasıyla sonuçlanan ısıtılmış yüzey üzerindeki bir nano-soğurma tabakasının oluşmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, ısıtılan yüzeye akustik titreşim uygulanarak nano-soğurma tabakasının oluşumu önlenirken, bu durumda Al₂O₃-su nanoakışkanı kullanılarak elde edilen ısı transfer performansı su kullanılarak elde edilenden daha iyi olmaktadır. Datta ve ark. (2018) dış bükey bir yüzey üzerine sınırlı bir yarıktan jet çarpmasında Al₂O₃-su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer performansının araştırılması için sayısal simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Sistemin akış davranışını ve taşınım ısı transfer performansını araştırmak için çeşitli Reynolds sayıları, jet-plaka arasındaki mesafe gibi farklı parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Ortalama Nusselt sayısı ve ısı transfer katsayısının jet giriş Reynolds sayısındaki artışla önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Kumar ve ark. (2021) ısı transfer oranını artırmak için jet çarpmalı durumda kanat profili sütunlarıyla birleştirilmiş bir ısı emici kullanmışlardır. Bunu gerçekleştirirken araştırmalarında su ve %1 konsantrasyonlu CuO-su nanoakışkanından yararlanmışlardır. Sonuçlarında, ısı emici sıcaklığında jet akışkanı olarak su akışkanı kullandıklarında %10'luk bir azalma elde ederlerken; nanoakışkan

kullandıklarında ise sıcaklık düşüşünün %14' ü bulunduğunu saptamışlardır. Mikrokanalın üst duvarında tırtıklı enjeksiyon jeti bulunan ve 0-40 Hartman yoğunluğunda manyetik alan kullanan bir mikrokanal içindeki %0-6 Al₂O₃-Su nanoakışkanın akışı Jalali ve ark. (2022) tarafından incelenmiştir. Jet çarpma bölmeli alt mikro kanal duvarı sabit bir sıcaklığa sahipken üst mikro kanal duvarı çarpan jetler arasında yalıtılmıştır. Isı transferini artırmak amacıyla çarpan jetler için girintili mod uygulanmıştır. Sonuçlar, tırtık çentik yüksekliğinin fazla olmasının ısı transferini o ölçüde artırdığını göstermiştir. Selimefendiğil ve Chamka (2020) CuO-su nano jeti kullanılarak oyuk benzeri bir kısmı olan izotermal bir yüzeyin soğutulmasında taşınım ısı transfer özelliklerini sayısal olarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarını, Reynolds sayısının farklı değerlerinde (100-400), farklı oyuk uzunlukları (5w-40w) ve yüksekliklerinde (w-5w) nanoparçacığın hacimsel konsantrasyonunu (%0-4) değiştirerek gerçekleştirmişlerdir. Oyuk uzunluğu düşük olduğunda, oyuğun eğimli duvarının ortalama Nusselt sayısına katkısının önemli olduğunu ve en yüksek hacimsel konsantrasyonda su yerine nanoakışkan kullanıldığında ortalama ısı transferinin %35-46 oranında arttığını belirlemişlerdir. Abdullah ve ark., (2019) çalışmalarında alüminyum bir plaka yüzeyine çift jet çarpmasının ısı transferi üzerinde TiO₂ nano çözeltisi konsantrasyonunun etkisini deneysel analiz yoluyla incelemişlerdir. Bunun haricinde değişkenler olarak çift jetin lüle mesafesini ve lüle-plaka mesafesini göz önüne almışlardır. Bu verilere bağlı olarak çift jetin akış yapısının ısı transferi artışını etkileyen önemli bir durum olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, mesafelerin ve akış yapısını etkileyen nanoparçacık konsantrasyonunun da Re sayısı ile birlikte Nu sayısını etkilediğini belirlemişlerdir. Shi ve ark. (2021) nano-alüminyum katkı maddelerinin yuvarlak su jetlerinin kararsızlığı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. İki şeffaf lülenin içinde ve çıkışının yakınında akış görselleştirmesi, yüksek hızlı gölge görüntüleme tekniği ile elde edilmiş ve nanoparçacık katkı maddelerinin jet kararsızlığı üzerindeki etkilerine esas olarak, viskozite artışı ve kavitasyon teşvikinin neden olduğu belirlenmiştir. Ulaşılan literatür incelemelerinden de anlaşıldığı üzere çarpan jetlerle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, nanoakışkanın kullanıldığı ve çarpan jet-çapraz akışın birlikte uygulandığı birleşik jet akışlı çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmada, küp ve oyuklu desenli bakır plakalı yüzeylerin çarpan jet-çapraz akış birleşik su ve %0,02 GO-Su nanoakışkan jet akışıyla kanatçiksız ve 90° açılı kanatçıklı farklı kanal yükseklikli (H = 3D ve 6D) ve sabit kanatçık mesafeli (N = D) kanallarda soğutulmaları sayısal olarak araştırılmıştır. Kanal içerisinde bulunan elemanların farklı desenli yüzeyler olarak seçilmesinin nedeni, birleşik kombine jet akışının soğutulacak desenli yüzeyler üzerindeki temasının artırılmasını sağlamanın yanında; jet akışın bir desenli yüzeye çarptıktan sonra tekrar kanal içerisindeki diğer desene doğru yönelmesini sağlayarak ısı transferi etkisini artırmaktır. Kanatçık, literatürde bulunan Öztürk ve Demircan (2022) tarafından yapılan çalışma da göz önünde bulundurularak; kanaldan gelen çapraz akışın ilk sırada bulunan desenler üzerine daha iyi yönlendirilebilmesi ve desenler arası boşlukta bulunan akışkanın hızının artırılabilmesi etkileri dikkate alınarak; akışı engellemeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Sayısal incelemede, sürekli ve üç boyutlu enerji ve Navier-Stokes denklemleri k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent programı kullanılarak

çözölmüştür. Kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken; desenli yüzeyler literatürde de uygulanan 1000 W/m^2 lik sabit ısı akısına sahiptir (Kilic ve ark., 2016; Kilic ve ark., 2017; Karabulut 2019; Alnak ve ark., 2021). Bilindiği gibi aşırı ısınma elektronik elemanların yoğun çalışma yükü altında oluşmaktadır. Bu ısı yükü ile birlikte, elemanların sıcaklıkları 308 ila 353 K arasında değişen sıcaklıklara kadar ulaşabilmektedir. Bu çalışmada da sırasıyla küp ve oyuklu desenler için elde edilen yüzey sıcaklıkları aralığı 307-310 K ve 308-311 K olmaktadır. Bu nedenle, yüzeylere uygulanan sabit ısı akısı yaklaşımının doğru olduğu görölmektedir.

Akışkanların çalışma Reynolds sayısı aralığı 5000-9000' dir. Seçilen bu Re sayısı değerleri literatürde yapılan çalışmalar temel alınarak seçilmiş olup; hem jet Re sayısını (Re_j) hem de kanal Re sayısını (Re_k) temsil etmektedir. Buna bağlı olarak, örnek verecek olursak; çalışmada $H = 3D$ kanal yüksekliğinde; jet ve kanalda nanoakışkan akışı için Reynolds sayısının 5000 olduğu değerlerde akış hızları sırasıyla $V_j = 0,355 \text{ m/s}$ ve $V_k = 0,103 \text{ m/s}$ olmaktadır. Aynı kanal yüksekliğinde $Re=9000$ için bu değerler sırasıyla $V_j = 0,638 \text{ m/s}$ ve $V_k = 0,186 \text{ m/s}$ 'dir. Dolayısıyla, literatürde ulaşılan çalışmalar da göz önüne alındığında hem jet hem de kanal akışı için çalışılan Re sayısı aralığı ($Re = 5000-9000$) türbölanslı olarak kabul edilmektedir. Çalışmada kullanılan %0,02 hacimsel konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının ısı iletkenliği, yoğunluğu ve viskozitesi deneysel olarak elde edilmiş olup; yalnızca özgül ısı Pak and Cho (1998) tarafından türetilen eşitlik yardımıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen denklemin sonuçlarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları saptanmıştır. Sonuçlar, her bir küp ve oyuklu desenli yüzeyde ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklıklarının değişimleri şeklinde sunulmuştur. Ayrıca, kanatçıkların ve nanoakışkanın birleşik jet akışlı kanallarda kanatçiksız ve su kullanılan durumlara göre Nu sayısı artışına karşı basınç düşüşleri, performans değerlendirme sayısı (PEC) göz önüne alınarak yorumlanmıştır.

1.1. Nanoakışkanın Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan grafen oksit (GO) nanoparçacığı grafitten sentezlenmiştir. GO nanoparçacığı sentezlenirken grafit bazı kimyasal işlemlerden geçirilmiştir. Bu işlemlerden sonra grafit asit ve kimyasallardan ayrıştırılması için saf sudan geçirilmiş ve daha sonrasında GO nanoparçacığı elde edilmesi için fırında kurutma işlemine tabi tutulmuştur (Hajjar ve ark., 2014; Hummers ve Offeman, 1958). GO-Su nanoakışkanı, sentezlenen GO nanoparçacığı kullanılarak iki aşamalı nanoakışkan hazırlama yöntemiyle elde edilmiştir. İki aşamalı prosedür, doğrudan nanoparçacıklarla suyu karıştırma ve elde edilen nanoakışkandaki nanoparçacıkların kümeleşmesini önlemek için ultrasonik ses dalgaları üreten ultrasonifikatör cihazından geçirmekten oluşmaktadır. Bu amaçla istenilen hacimsel konsantrasyona bağlı olarak 0,1 mg hassasiyetli hassas terazi ile ölçülerek GO nanoparçacıkları hazırlanmıştır. %0,02 hacimsel konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanı elde etmek için 0,8 g GO nanoparçacığı kullanılmıştır. Elde edilen nanoakışkan kararlılığını sağlamak için ultrasonikatör cihazı ile ses dalgalarına maruz bırakılmıştır.

Nanoakışkandaki hacimsel nanoparçacık konsantrasyonu Eşitlik (1) (Karabulut ve ark., 2020) ile hesaplanır.

$$\frac{v_p}{v_{nf}} = \frac{v_p}{v_{bf} + v_p} = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_{bf}}{\rho_{bf}}} = \frac{m_p \rho_{bf}}{m_p \rho_{bf} + m_{bf} \rho_p} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de m_p ve m_{bf} sırasıyla nanoparçacık ve suyun kütlelerini, ρ_{bf} ve ρ_p ise sırasıyla suyun ve nanoparçacığın kütlelerini göstermektedir.

1.2. GO-Su Nanoakışkanının Termofiziksel Özellikleri

Çalışmada kullanılan nanoakışkanın viskozite, ısıl iletkenlik katsayısı ve yoğunluk gibi termofiziksel özellikleri literatürde kullanılan herhangi bir eşitlik ile belirlenmemiş olup, viskozite değeri Malvern Kinexus Pro koni ve plaka gerilimi kontrollü reometre ile (Karabulut ve ark., 2020), ısıl iletkenlik katsayısının ölçümü günümüzde literatürde yaygın olarak kullanılan sıcak tel yöntemi ile KD2 Pro ısıl iletkenlik ölçerle (Karabulut ve ark., 2020) ve yoğunluk ölçümü ise Anton-Paar DMA 4200 Yoğunluk Ölçer (Karabulut ve ark., 2020) kullanılarak deneysel olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, nanoakışkanın özgül ısı değerine Eşitlik (2)'deki Pak ve Cho (1998) tarafından önerilen analitik model sonucunda ulaşılmıştır.

$$c_{p,nf} = (1 - \phi)c_{p,bf} + \phi c_{p,p} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'deki p, nf ve bf sırasıyla parçacık, nanoakışkan ve su akışkanını ifade etmektedir. Ayrıca, konsantrasyonun düşük olması (%0,02) nedeniyle nanoakışkanın hesaplanması sonucunda elde edilen özgül ısı değeri suya yakın olduğu için suyla birbirine eşit alınmıştır.

Nanoakışkanın ve suyun özgül ısısı dışında diğer termofiziksel özellikleri deneysel olarak elde edilmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir (Karabulut ve Alnak, 2021).

Tablo 1. 30°C sıcaklıkta akışkanların termofiziksel özellikleri

| Akışkan | k (W/mK) | ρ (kg/m ³) | c_p (J/kgK) | μ (Ns/m ²) |
|--------------------|----------|-----------------------------|---------------|----------------------------|
| Su | 0,6172 | 995,8 | 4178,4 | 803,4x10 ⁻⁶ |
| GO-Su nanoakışkanı | 0,678 | 996,1 | 4178,4 | 1060x10 ⁻⁶ |

Ölçülen değerlerin belirsizlik analizleri, Taylor (1997)'in belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Gösterilen değerler, tüm deneysel durumlar dikkate alınarak verilen parametreler için maksimum değerlerdir.

Tablo 2. Deneysel değerler için belirsizlik analizinin sonuçları

| Değişken | Mutlak belirsizlik aralığı | Birim |
|----------------|----------------------------|-------------------|
| k | ±0,006 | W/mK |
| ρ | ±9,9 | kg/m ³ |
| μ | ±1,2x10 ⁻⁶ | Ns/m ² |
| c _p | ±41,78 | J/kgK |

2. Sayısal Metot

Desenli yüzeylerdeki birleşik jet akışın zorlanmış taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

Akış ve ısı transferi, aşağıdaki gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı sürekli, kanaldaki birleşik jet akış nedeniyle gerçekleşen türbülanslı akış için kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden zaman ortalamalı olarak türetilen diferansiyel denklemlerin çözümleriyle yapılmıştır (Wang ve Mujumdar, 2015; Alnak ve ark., 2021; Karabulut ve Alnak, 2021).

Isı transferi süreçlerinde türbülansın doğru modellenmesi esastır. Bununla birlikte, türbülanslı akışkanların doğrudan sayısal simülasyonları çok zor olup aynı zamanda zaman alıcı bir süreçtir. Sayısal modellemelerde kullanılan çeşitli türbülans modelleri (Genç ve ark., 2009; Genç 2010; Genç ve ark., 2011) bulunmakla birlikte, bu modeller arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukla sonuç vermesi bakımından yarı ampirik bir model olan k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve Mujumdar, 2005). Çarpan jetlerle ilgili olarak yapılan çalışmaların birinde, Wang ve Mujumdar (2005) türbülanslı jetler için düşük Re sayılı birkaç k-ε türbülans modelini test etmişlerdir. Modellerin, Nu sayısı dağılımının genel şeklini belirleyebildiğini ve büyük jet-plaka arası uzaklıklar için durma noktasında modellerin daha iyi uygulandığını saptamışlardır. Çalışmalarında, standart yüksek Re sayılı modellerle kıyaslandığında, k-ε türbülans modelinin çarpan jetlerin ısı transferi özelliklerini belirlemede iyi bir performans sergilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, çalışmada diğer türbülans modelleriyle karşılaştırıldığında kinetik enerji üretimini azaltmaya ve durma bölgesinde olması gereken sonuca yaklaşıldığından k-ε türbülans modelinin uygun olduğunu belirlemişlerdir. Buna göre, literatürdeki çalışmalardan elde edilen sonuçlar da göz önüne alınarak bu çalışmada sayısal hesaplamalarda desenli yüzeyler için standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (3)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i' u_j'} \right] \quad (4)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \bar{T}' u_i' \right] \quad (5)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (6)$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

Bu denklemlerde, ρ akışkanın yoğunluğunu, k türbülanslı akışın kinetik enerjisini belirtilirken, u_i x, y ve z yönlerindeki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k ($\sigma_k = 1$) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir (Wang ve Mujumdar, 2015; Karabulut ve Alnak, 2021).

$$G_k = -\rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

Türbülans yutulma Pr sayısı σ_ε ile belirtilirken, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$ ve $\sigma_\varepsilon = 1.3$ değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır (Saleha, 2015).

Ortalama ısı taşınım katsayısı h , Eş. 10 ve Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 11 ile hesaplanmaktadır (Incropera, 2007).

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad (10)$$

Nu sayısı

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h (T_a - T_y) \text{ ve } Nu = \frac{h(3m)}{k_a} \quad (11)$$

Bu eşitliklerde, T_a ve T_y sırasıyla akışkanının ve elemanın ortalama olarak yüzey sıcaklıklarını (K), k_a akışkanın ısı iletim katsayısını (W/m.K), $3m$ akışkanın temas ettiği elemanın toplam yüzey uzunluğunu (m), h ve h_m ise sırasıyla desenli yüzey boyunca noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m².K), n ise yüzeye dik yön olup desenli yüzey ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Desenli yüzey ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3m} \int_0^{3m} h dx \quad (12)$$

Desenli yüzey ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3m)}{k_a} \quad (13)$$

Kanalın hidrolik çapı

$$D_{ih} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(HW)}{2(H+W)} \quad (14)$$

Bu eşitlikte, A_k ve P_k sırasıyla kanalın kesit alanı ve ıslak çevresini gösterirken, kanalın yükseklik ve genişliği ise H ve W ile temsil edilmektedir. Jet giriş çapı D , dairesel girişli jet hidrolik çapına D_{hjet} eşittir.

Kanalın ve jetin Re sayıları ise sırasıyla Eş. (15) ve (16) kullanılarak belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{ih}}{\mu_a} \quad (15)$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad (16)$$

Bu eşitliklerde, akışkanın kanal ve jet akış hızları sırasıyla V_k ve V_j (m/s) ile gösterilmektedir.

Basınç düşüşü (ΔP) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P = \frac{f \rho L}{2D_{ih}} V_k^2 \quad (17)$$

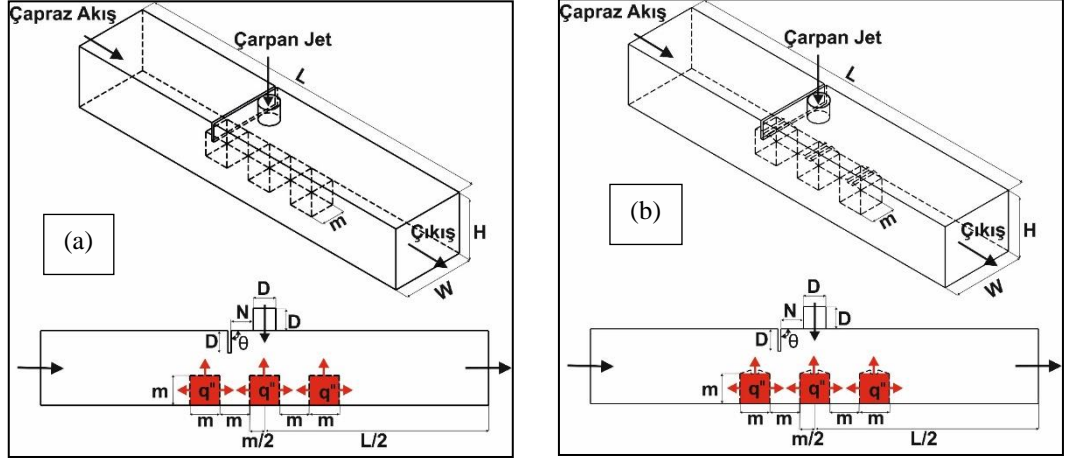
Bu eşitlikte, ΔP kanatçıksız ve kanatçıklı kanalların giriş ve çıkışları arasındaki basınç düşüşünü (Pa), f sürtünme faktörünü ve L kanalın uzunluğunu (m) temsil etmektedir. Performans değerlendirme sayısı (PEC) ise aşağıda belirtilen Eşitlik (18) ile bulunmaktadır (Alnak, 2020).

Performans değerlendirme sayısı (PEC)

$$PEC = \frac{(Nu_{m-kanatçıklı} / Nu_{m-kanatçıksız})}{(\Delta P_{kanatçıklı} / \Delta P_{kanatçıksız})} \quad (18)$$

3. Desen Geometrileri

Çalışmadaki çarpan jet-çapraz akış birleşik jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki küp ve oyuklu desen yüzeylerine sahip elemanların ölçüleri Şekil 1 (a) ve (b)'de verilirken; kanalların boyutsal ölçüleri ise Tablo 3'te verilmiştir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada yapılan kabuller ve sınır şartları Tablo 4' de sunulmaktadır. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir.



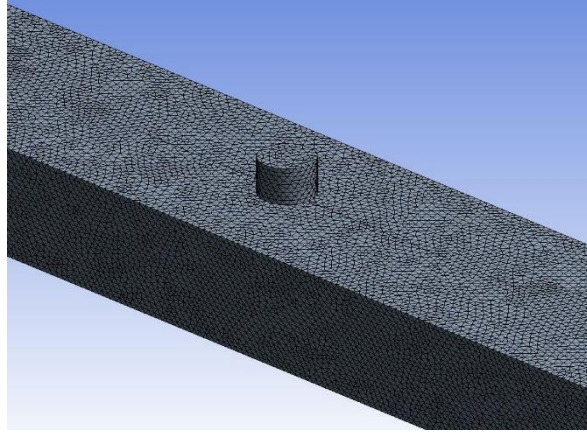
Şekil 1. (a) Küp (b) Oyuklu desen yüzeyli kanalların görünüşleri

Tablo 3. Kanalların boyutsal ölçüleri (Öztürk ve Demircan, 2022)

| Değişken | Ölçü |
|----------|--------|
| D | 15 mm |
| L | 66D |
| W | 4D |
| H | 3D, 6D |
| M | 20 mm |
| θ | 90° |
| N | D |

Tablo 4. Çalışmada uygulanan sınır şartları

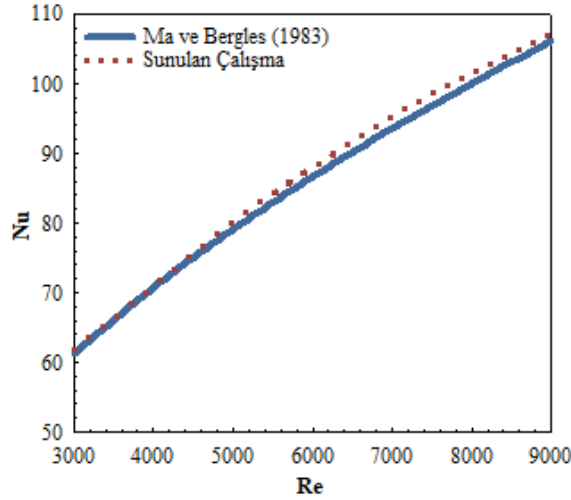
| | |
|----|---|
| a) | Sürekli, üç boyutlu ve türbülanslı akış hacmi kullanılmıştır |
| b) | Sıkıştırılamaz akışkan olarak su ve %0,02 GO-Su nanoakışkanı, hem jet hem de çarpın akış akışkanı olarak kullanılmışlardır |
| c) | Akışkanların ısı özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır |
| d) | Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir |
| e) | Akışkan olarak kullanılan su, nanoakışkan ve desenli yüzeylerde ısı kaynağı bulunmamaktadır |
| f) | Kanalın çıkış basıncı, atmosfer basıncına eşit alınmıştır ($P_c = P_{atm}$) |
| g) | Kanalın çıkışındaki sıcaklık farkının ihmal edilebilecek kadar az miktarda olduğu kabul edilerek $\partial T / \partial x = 0$ olarak belirlenmiştir |
| h) | Kanal, kanatçık ve desen yüzeylerinde kaymazlık sınır şartı olduğu ve bu nedenle bahsedilen yüzeylerde tüm hız bileşeni değerlerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir. |



Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi

4. Bulgular ve Tartışma

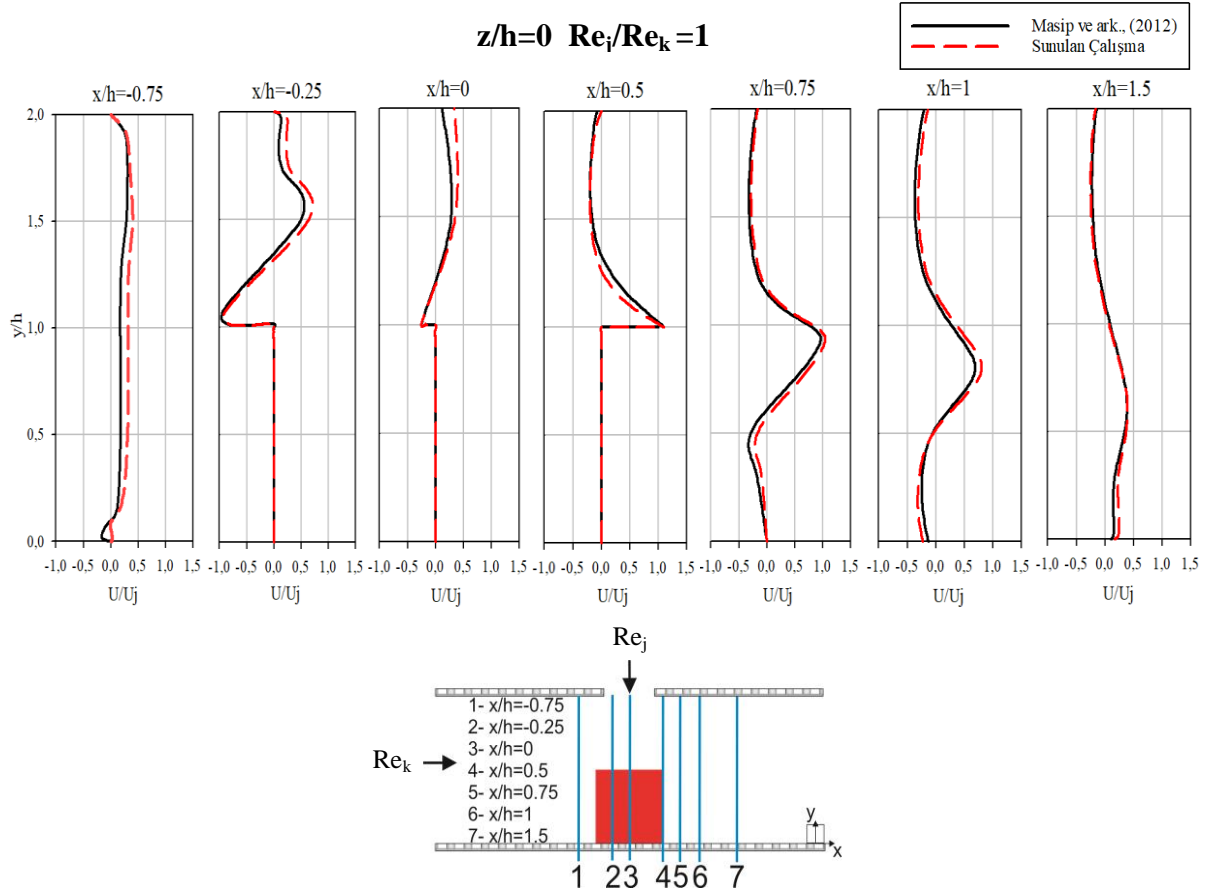
Çalışmada, Şekil 3'te gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles (1983)'in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları eşitlik kullanılarak ($\overline{Nu} = 1,29 Re^{0.5} Pr^{0.4}$) edinilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles (1983)'in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sonuçlarının uyumlu ve tutarlı oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles (1983)'in sonuçlarının kıyaslanması

Ayrıca, literatürde Masip ve ark. (2012)'nin çapraz akış ve çarpan jet kombine akışına maruz kalan bir küp etrafındaki türbülanslı akışın deneysel olarak incelendiği çalışma ile bu çalışmanın sayısal sonuçları karşılaştırılmış ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Masip ve ark. (2012), çalışmalarında 2000x300x30mm boyutlarında bir kanal içerisine küp şeklinde bir eleman yerleştirmişlerdir. Kanalın bütün yüzeylerinin adyabatik olarak alındığı varsayılarak; jet Re sayısının (Re_j), kanal Re sayısına (Re_k) oranı eşit alınarak ($Re_j/Re_k=1$) elektronik elemanın etrafındaki akış yapıları farklı konumlarda (x/h) incelenmiştir. Şekil 4' den de görülebildiği gibi sunulan çalışma ile Masip ve ark. (2012)'nin

yapmış olduğu deneysel çalışma sonucu ulaşılan hız profillerinin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları saptanmıştır.



Şekil 4. Sunulan çalışma ve Masip ve ark., (2012)' nin sonuçlarının karşılaştırılması

Ağ sayısına bağlı Nu sayısının değişimini belirlemek kaydıyla kanaldaki en uygun sayıdaki ağ elemanı belirlenerek kanatçiksız birleşik jet akışlı kanaldaki ağ sayısının ortalama Nu sayısı (Nu_m) üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Tablo 5'te sunulmuştur. Buna göre kanatçiksız kanal için 2.022.840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği bulunmuştur.

Tablo 5. Ağ elemanı sayısına bağlı olarak Nu_m ' nin Reynolds sayısı ile değişimi

| Ağ elemanı sayısı | Re = 5000 Nu_m | Re = 7000 Nu_m | Re = 9000 Nu_m |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1.758.412 | 86,48 | 108,84 | 127,40 |
| 2.022.840 | 86,52 | 108,88 | 127,43 |
| 2.245.786 | 86,52 | 108,87 | 127,42 |

Bununla birlikte, ilk düğüm noktasının viskoz sınır tabaka altında kalabilmesi amacıyla y^+ değerinin yaklaşık olarak 1 olabileceği ilk ağ yüksekliği hesaplanarak elektronik eleman yüzeylerine en yakın olarak atılan ağ elemanının yüksekliği 0,07 mm olarak seçilmiştir.

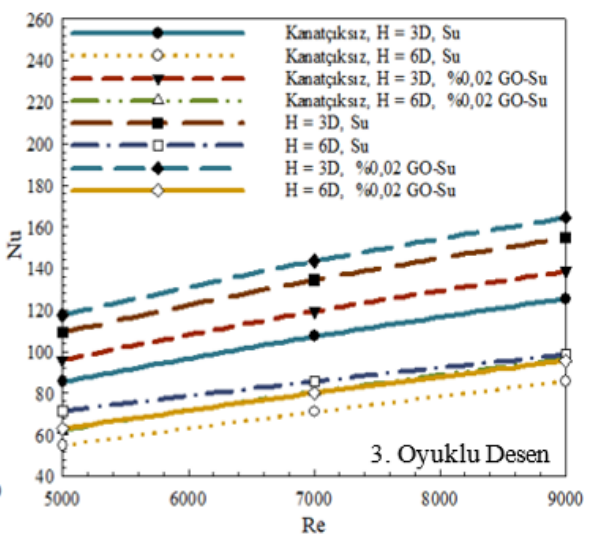
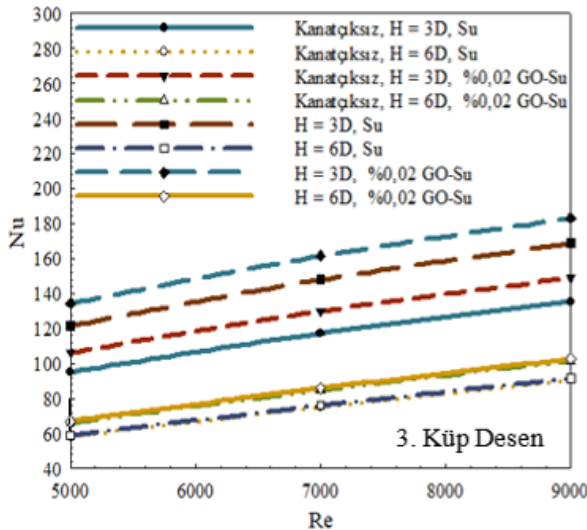
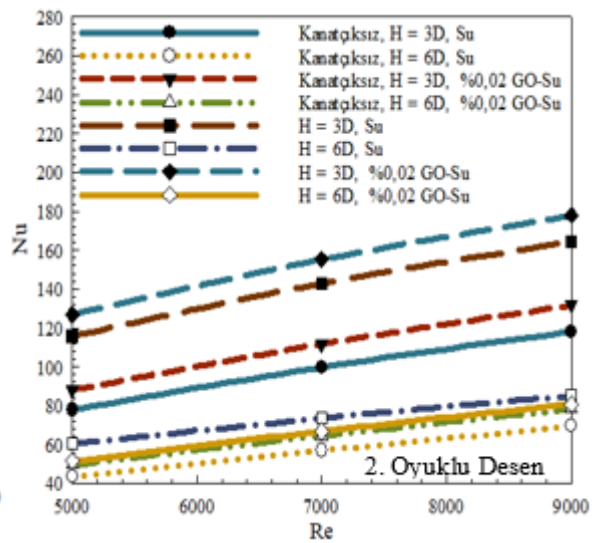
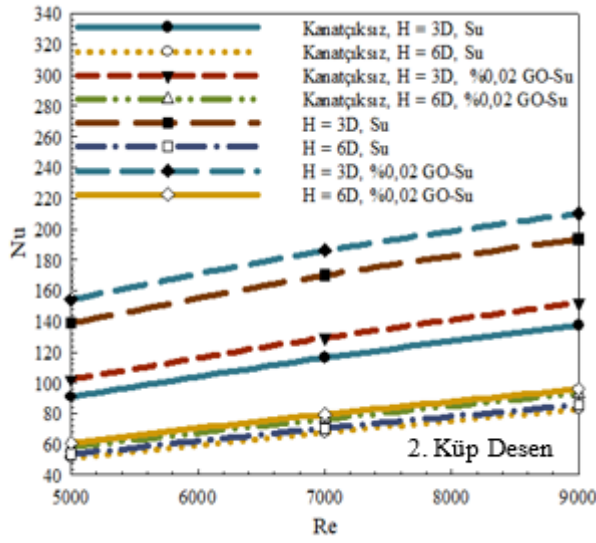
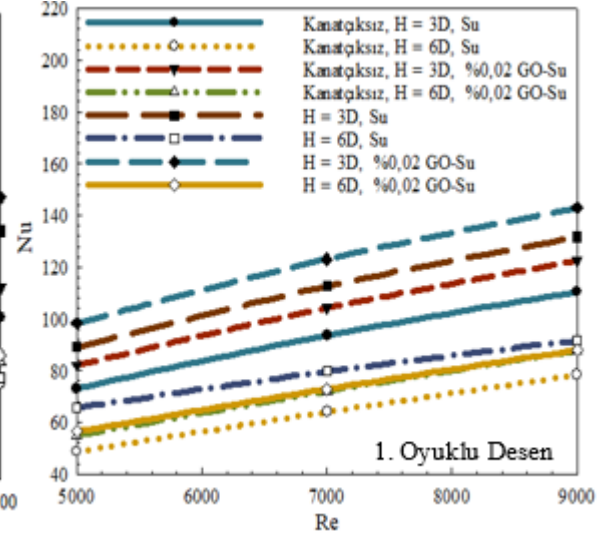
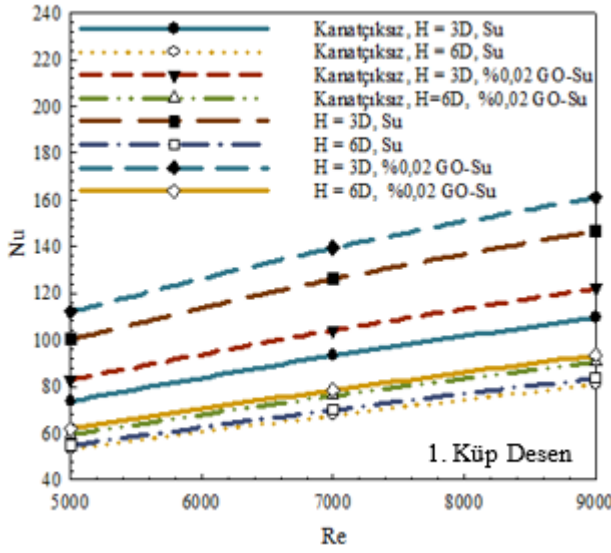
Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeylerdeki ortalama Nu sayısının Reynolds sayısı ile değişimi çapraz akış-çarpan jetli birleşik jet akışlı kanallarda su ve %0,02 konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanı kullanılarak kanatçiksız ve kanalın jet akış giriş yüzeyiyle yatayda 90° kanatçık

eklenmesi durumlarında $H = 3D$ ve $H = 6D$ kanal yükseklikleri için araştırılmıştır. Nanoakışkanın su akışkanına göre ısı iletkenliği daha fazla olduğundan zorlanmış taşınımlı olan jet akışlarında suya göre daha fazla ısı taşınım katsayısına sahiptirler. Bu nedenle, nanoakışkan kullanılan birleşik jet akışlı kanallarda Nu sayısı değerleri daha fazladır. Bununla birlikte, kanal yüksekliğinin (H) artışı sabit Re sayısında jet akışın desenli yüzeyler üzerindeki çarpma etkisini azaltarak hız ve ısı sınır tabaka kalınlığının artmasına sebep olduğundan; Nu sayısında azalmaya neden olmaktadır. Bu duruma bağlı olarak her iki desen yüzeyli kanal için $H = 3D$ 'de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri; $H = 6D$ 'den daha yüksektir. Ayrıca, kanallara kanatçık ($\theta = 90^\circ$) eklenmesi; kanatçıksız duruma göre birleşik jet akışını sabit ısı akılı desenli yüzeylere daha iyi yönlendirdiğinden ısı transferi iyileşmekte ve Nu sayısı değerleri artmaktadır. Her iki desenli yüzeye sahip kanalda, kanatçık kullanılması durumunda GO-Su nanoakışkanı için en yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılırken; en düşük Nu sayısı değerleri ise kanatçıksız ve $H = 6D$ kanal yüksekliği durumunda elde edilmektedir. Kanallarda bulunan birinci sıradaki desenler (Desen 1) doğrudan kanaldan gelen çapraz akışın etkisi altındadır. Su akışkanının kullanıldığı kanalda 1. sıradaki küp desenli yüzey için $Re = 7000$ ve $H = 3D$ kanal yüksekliğinde kanatçıksız duruma göre kanatçığın kullanıldığı kanalda ortalama Nu sayısı değerinde %35,45 artış elde edilirken; aynı şartlarda $H = 6D$ olan kanal için bu artış değeri %3,41'e düşmektedir. %0,02 GO-Su nanoakışkanının kullanıldığı kanatçıklı kanalda $Re = 9000$ ve $H = 3D$ için yine kanatçıklı fakat su akışkanı olan kanala göre Nu sayısında %9,85'lik artış değerine ulaşılırken; artıştaki bu değer kanatçıksız durum için %0,02 GO-Su nanoakışkanı ve su akışkanı için sırasıyla %32 ve %47,14 olmaktadır. Oyuklu desenli yüzeyi analiz edecek olursak; Şekil 6'dan da görülebildiği gibi küp desenli yüzeylere göre desen şekli sonucu birleşik jet akışının kanaldaki hareketiyle desenli yüzeylerle azalan teması nedeniyle daha düşük Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. $Re = 5000$ ve $H = 3D$ için nanoakışkanın kullanıldığı kanatçıklı kanalda su akışkanına göre Nu sayısında %10,34'lük artış değerine ulaşılırken; bu değer kanatçıksız su akışkanı ve nanoakışkan kullanılan kanallar için sırasıyla %34,5 ve %19,83 olmaktadır. Desen 2 için Nu sayısı değerleri incelendiğinde ise çapraz akışa ilave olarak doğrudan çarpan jet akışın da etkisi altında olduğundan birleşik jet etkisiyle Desen 1'e göre daha yüksek değerler elde edilmektedir. Bununla birlikte, $H = 6D$ yüksekliğinde özellikle oyuk desenli yüzeylerde; Desen 1 ile kıyaslandığında daha düşük Nu sayısı değerleri görülmektedir. Bu durum, desen yüzey şekline bağlı olarak birleşik jet akışın kanal içerisindeki akış hareketinden kaynaklanmaktadır. Reynolds sayısının 9000 olduğu durumda $H = 6D$ için GO-Su nanoakışkanı için Desen 1'e göre Desen 2'de küp desenli yüzeyde Nu sayısında %2,71 artış elde edilirken; oyuk desenli yüzeyde Nu sayısı %8,61 azalmaktadır. Desen 3, kanal sonunda bulunduğu genel itibarıyla birleşik jet akışı etkisinin azaldığı desen olmaktadır. Ancak, her iki desenli yüzey için de kanatçıksız durumlarda kanaldan gelen çapraz akışın çarpan jet akışını sürükleyerek; Desen 3'e doğru yönlendirmesiyle Desen 2'ye göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilmektedir. Bunun yanı sıra, her iki desenli yüzey durumunda kanatçıklı ve $H = 3D$ 'de Desen 3'e göre kanatçığın birleşik jet akışı Desen 1 ve Desen 2'ye yönlendirmesiyle, Nu sayıları bu durumlarda azalırken; $H = 6D$ kanal

yüksekliği için ise Desen 2'ye göre Nu sayıları artmakta yani ısı transferi iyileşmektedir. Çünkü belirtilen bu kanal yüksekliğinde kanatçığın etkisi azalmakta ve çapraz akış, çarpan jet akışını Desen 3'e doğru yönlendirmektedir. Bu nedenle, desenler üzerinde düzgün dağılımlı bir birleşik jet akışı etkisi elde edilememektedir.

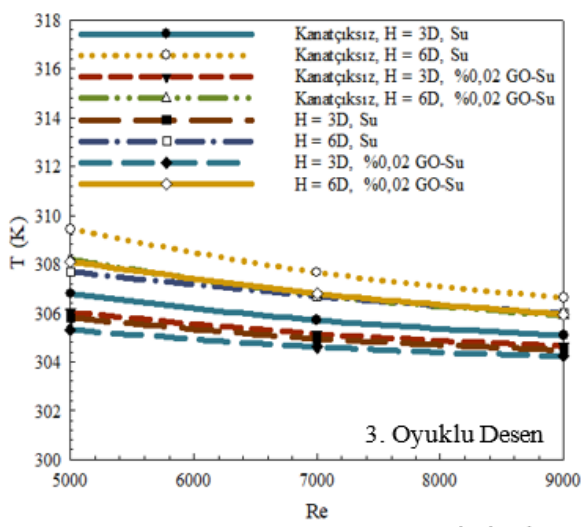
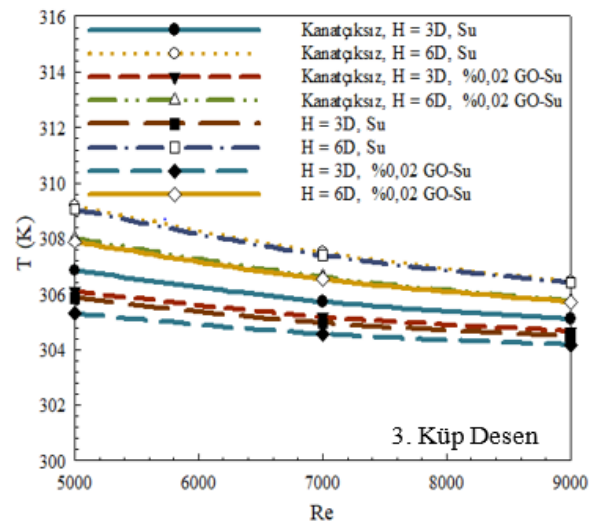
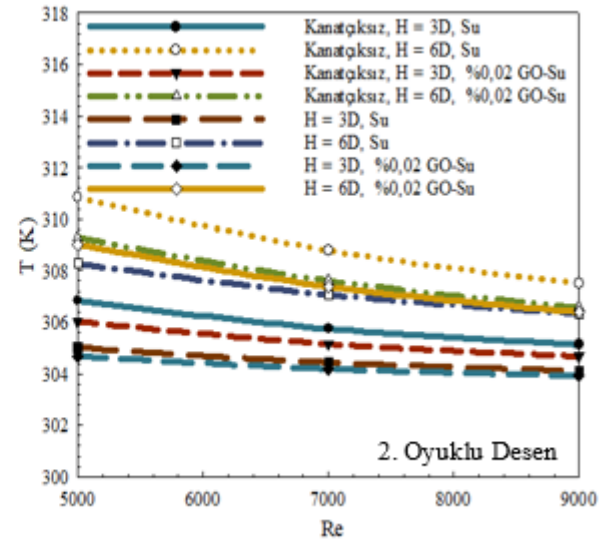
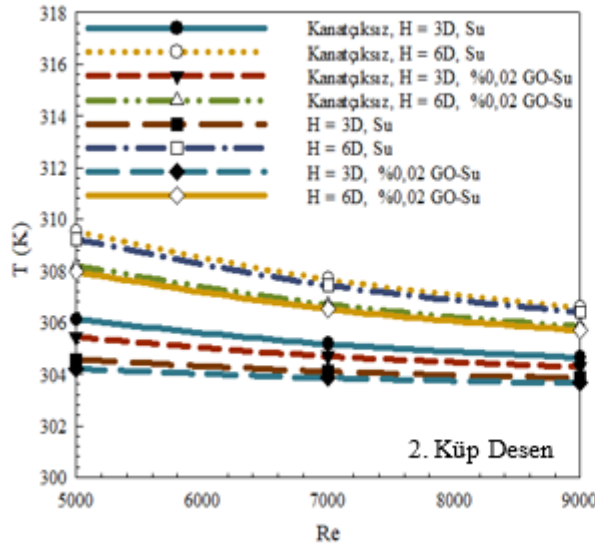
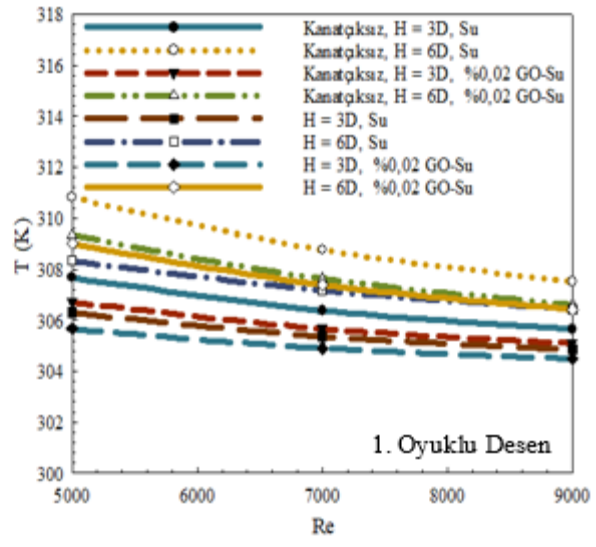
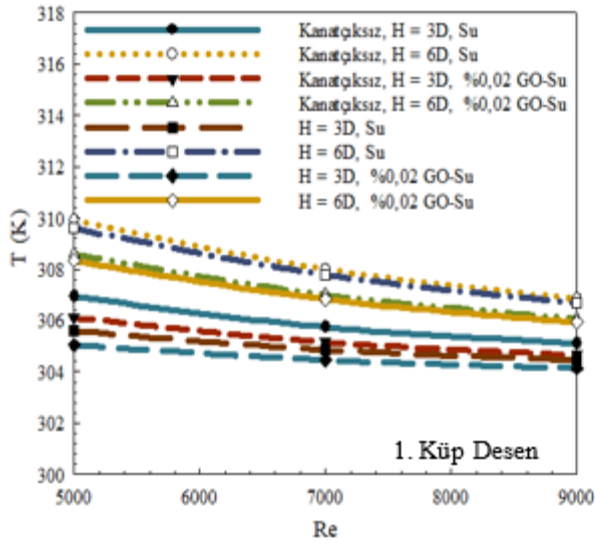
3D ve 6D (H) yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda bulunan sırasıyla küp ve oyuklu desen yüzeylerine ait ortalama yüzey sıcaklığı değişimleri %0,02 GO-Su nanoakışkanı ve su kullanılarak kanatçiksız ve 90° açılı kanatçık durumları için Şekil 7 ve 8'de gösterilmektedir. Desenli yüzeylerin Şekil 5 ve 6'daki ortalama Nu sayısı değişimlerine paralel olarak en düşük yüzey sıcaklıkları ısı transferinin daha fazla olduğu 3D yükseklikli ve GO-Su nanoakışkanının kullanıldığı birleşik jet akışlı kanallarda elde edilirken; en yüksek yüzey sıcaklıkları ise kanatçiksız ve 6D yükseklikli kanallarda görülmektedir. Ayrıca, Re sayısının artışı akışkanın kanal içerisinde ve desen aralıklarındaki boşluklarda hareketliliğini artırarak; ısı transferini iyileştirdiğinden yüzeylerin sıcaklıkları düşmektedir. Bununla birlikte, her iki desenli yüzey için en düşük yüzey sıcaklıklarına birleşik jet etkisinin en fazla olduğu Desen 2 için ulaşılırken; Desen 1 ve Desen 3'te nispeten daha yüksek sıcaklık değerleri görülmektedir. Şekil 7 ve 8'den de kolaylıkla görülebildiği gibi oyuklu desenli yüzeylerde küp desenli yüzeylere kıyasla sıcaklık değerleri daha fazladır. Bunun yanı sıra, nanoakışkanın kullanıldığı kanallarda nanoparçacıkların desenli yüzeylerle akışkan arasında ısı transferini artırıcı potansiyeli nedeniyle su akışkanına göre daha iyi ısı transferi ve dolayısıyla daha düşük yüzey sıcaklıklarına ulaşılmaktadır.

Tablo 6'da $Re = 9000$ değerinde su ve %0,02 GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı kanallardaki her üç küp ve oyuklu desenli yüzeylerin tümü için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_m) değerlerinin analizleri sunulmaktadır. Her iki desenli yüzey için de en yüksek Nu_m değerine 90° kanatçıklı $H = 3D$ yükseklikli birleşik jet akışlı kanal için %0,02 GO-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda ulaşılırken, en düşük Nu_m ve T_m değerleri ise kanatçiksız ve $H = 6D$ yükseklikli su akışkanlı kanal için elde edilmektedir. Kanatçıklı ve $H = 3D$ için GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı kanalda su akışkanlı ve kanatçiksız kanala göre küp ve oyuklu desen yüzeyleri için Nu_m değerinde sırasıyla %45,04 ve %37,11' lik artışlar bulunmaktadır. Aynı şartlarda $H = 6D$ yükseklikli kanallar için ulaşılan bu artış değerleri oldukça düşüktür. Bunun yanı sıra, beklenildiği gibi kanatçıklı ve nanoakışkan kullanılan kanallarda ($H = 3D$) kanatçiksız kanallara göre daha düşük yüzey sıcaklıkları elde edilmektedir.



Şekil 5. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı küp desen yüzeyli kanallarda desenlerin ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi

Şekil 6. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı oyuklu desen yüzeyli kanallarda desenlerin ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi



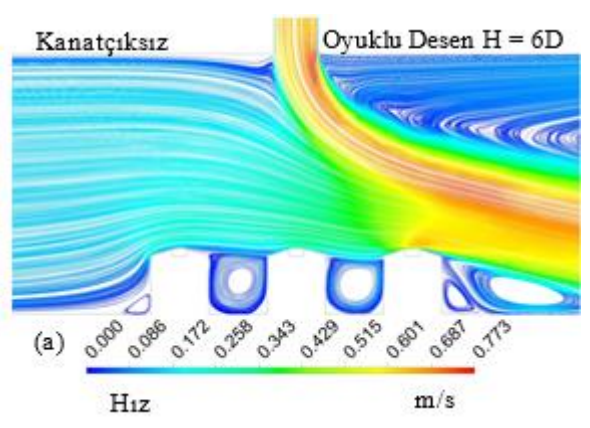
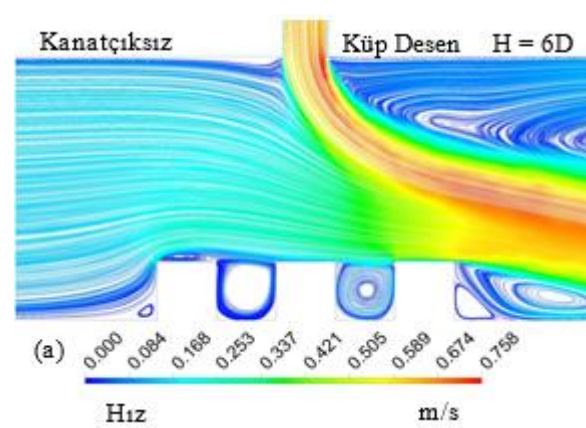
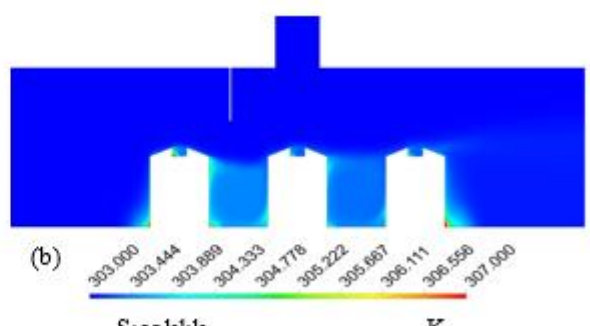
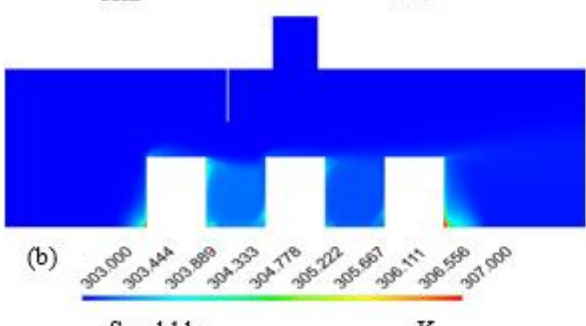
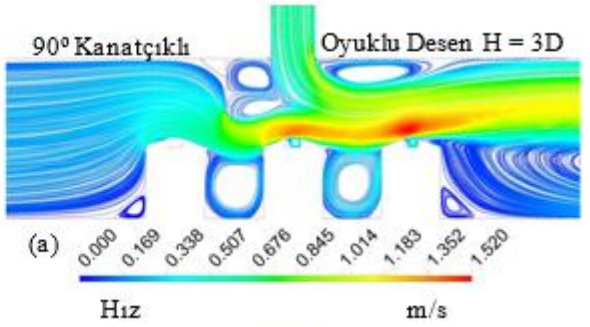
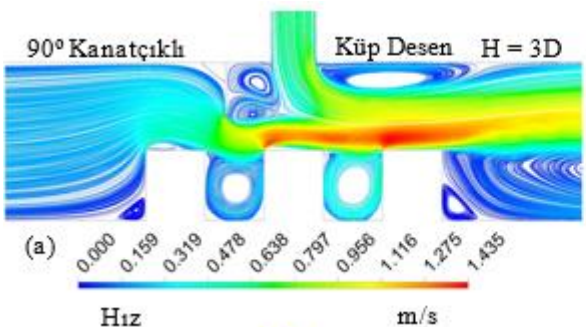
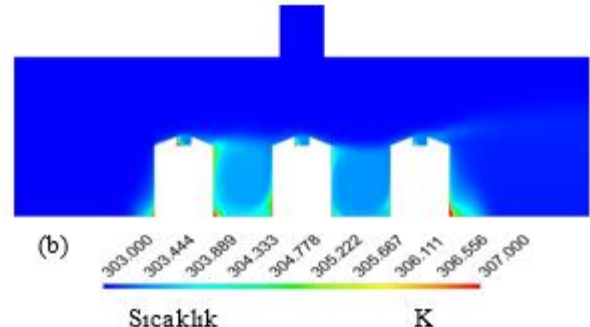
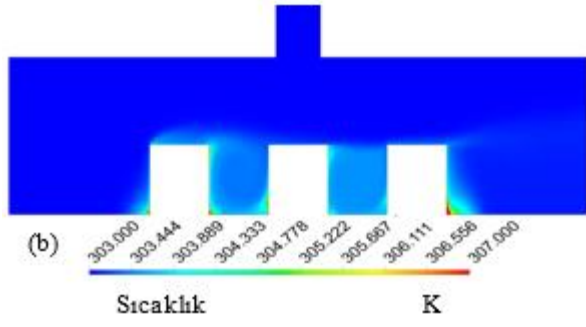
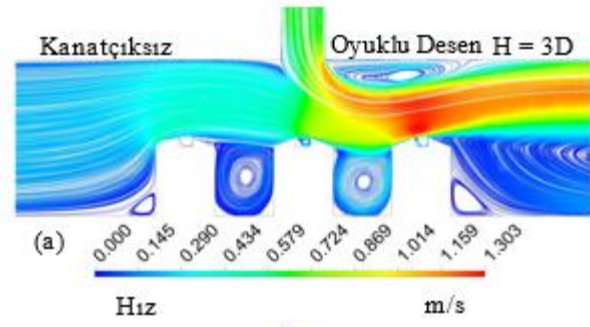
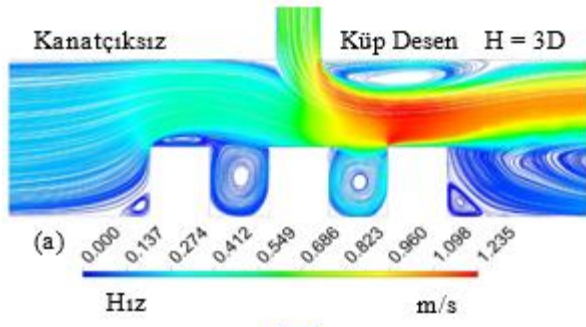
Şekil 7. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı küp desen yüzeyli kanallarda desenlerin ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısına göre değişimi

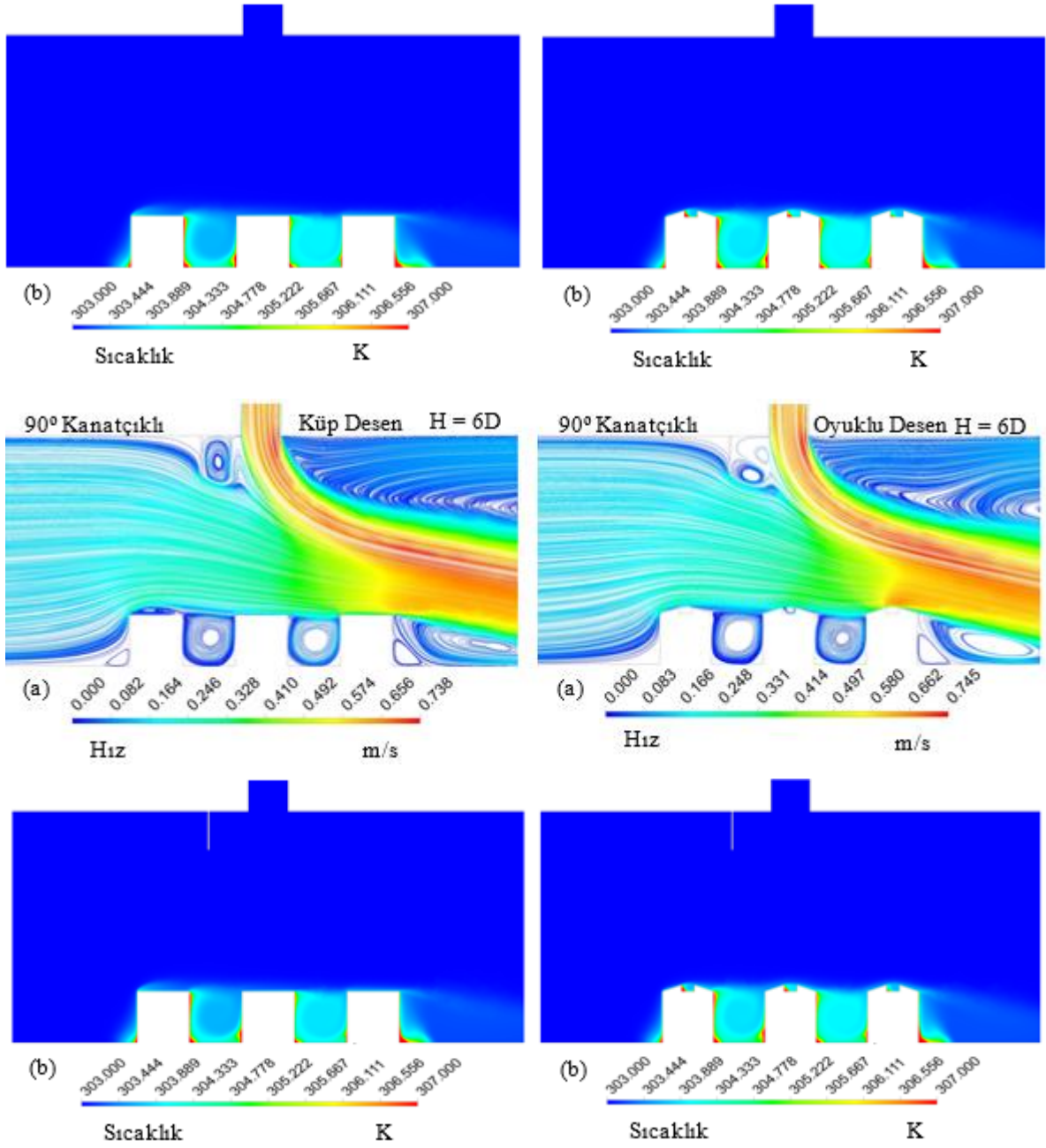
Şekil 8. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı oyuk desen yüzeyli kanallarda desenlerin ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısına göre değişimi

Tablo 6. Su ve %0,02 GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı kanallardaki her üç küp ve oyuklu desenli yüzeylerin tümü için Nu_m ve T_m değerlerinin analizi

| Re = 9000 | | | Küp Desen | Oyuklu Desen |
|------------------------|-------------|---------------|-----------|--------------|
| Kanatçıksız, H = 3D | Su | Nu_{ort} | 127,420 | 118,032 |
| Kanatçıksız, H = 6D | Su | Nu_{ort} | 84,647 | 77,941 |
| 90° Kanatçıklı, H = 3D | Su | Nu_{ort} | 169,666 | 150,344 |
| 90° Kanatçıklı, H = 6D | Su | Nu_{ort} | 86,955 | 91,864 |
| Kanatçıksız, H = 3D | %0,02 GO-Su | Nu_{ort} | 141,015 | 131,024 |
| Kanatçıksız, H = 6D | %0,02 GO-Su | Nu_{ort} | 94,956 | 87,642 |
| 90° Kanatçıklı, H = 3D | %0,02 GO-Su | Nu_{ort} | 184,813 | 161,835 |
| 90° Kanatçıklı, H = 6D | %0,02 GO-Su | Nu_{ort} | 97,318 | 88,099 |
| Kanatçıksız, H = 3D | Su | T_{ort} (K) | 304,954 | 305,289 |
| Kanatçıksız, H = 6D | Su | T_{ort} (K) | 306,631 | 307,210 |
| 90° Kanatçıklı, H = 3D | Su | T_{ort} (K) | 304,266 | 304,481 |
| 90° Kanatçıklı, H = 6D | Su | T_{ort} (K) | 306,496 | 306,248 |
| Kanatçıksız, H = 3D | %0,02 GO-Su | T_{ort} (K) | 304,535 | 304,799 |
| Kanatçıksız, H = 6D | %0,02 GO-Su | T_{ort} (K) | 305,888 | 306,350 |
| 90° Kanatçıklı, H = 3D | %0,02 GO-Su | T_{ort} (K) | 303,992 | 304,208 |
| 90° Kanatçıklı, H = 6D | %0,02 GO-Su | T_{ort} (K) | 305,781 | 306,249 |

Şekil 9 ve 10'da GO-Su nanoakışkanı kullanılan birleşik jetli ve H = 3D ve 6D yükseklikli kanallarda sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeylerin (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları kanatçıksız ve 90° kanatçık kullanılması durumları için gösterilmektedir. Her iki desenli yüzey ve kanal yüksekliği (H = 3D, 6D) için kanatçıksız durumda kanal girişinden gelen çarpaz akışın Desen 2'nin üzerinden kanala giriş yapan çarpan jeti kanal çıkışına doğru sürüklemesiyle H = 3D için Desen 2'nin üst yüzeyinin bir kısmı da dâhil olmak üzere özellikle H = 6D'lik kanalda ise sadece Desen 3 üzerinde hız konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi akışkan hızında artış olmaktadır. Bu durumda, ısı sınır tabaka kalınlığı azalarak desenli yüzey üzerinde ısı transferi artmaktadır. Bu nedenle, kanatçıksız durumlarda Desen 3 için Desen 2 ve Desen 1 ile kıyaslandığında sıcaklık konturunda desenli yüzeylerin soğumasının daha iyi olduğu görülebilmektedir. Ayrıca, her iki kanal yüksekliği için birleşik jet akışının Desen 3'ün üzerine doğru yönlendirilmesinde kanal içerisinde çarpan jet akışının sağ tarafında oluşan yeniden dolaşım bölgelerinin etkisi bulunmaktadır. Oluşan bu yeniden dolaşım bölgesinin kanal yüksekliğinin artmasıyla arttığı; hız konturu dağılımlarından görülebilmektedir. Kanallara kanatçık eklendiğinde özellikle kanatçık açısının 90°'lik bir dik açıya sahip olması nedeniyle akışkanın Desen 2 ve Desen 3 üzerine doğru geçeceği kanal kesit alanı oldukça daralmış olup kanalın sol taraf girişinden çarpaz akışın jet etkisi kazanmasını sağlamaktadır. Bu etki, çarpan jet akışıyla birleşerek özellikle Desen 2 ve Desen 3 üzerinde ısı transferini artırıcı birleşik jet akışı etkisinin artmasını sağlamaktadır. Ancak, H = 6D'lik kanal yüksekliği mesafesinde kanatçığın desenler üzerindeki etkisi oldukça azaldığından; H = 3D'ye göre desenler arası boşluklarda oluşan yeniden dolaşım bölgelerini yeterince hareketlendiremeyip bu bölgelerde akışkan kendi içerisinde sirkülasyon halinde olup desenlerin köşe noktalarında sıcaklıkta artışlar olmaktadır. Bu nedenle H = 6D'de H = 3D'ye göre desenli yüzeylerden olan ısı transferinde ve dolayısıyla desenlerin soğumasında beklenen iyileşme sağlanamamaktadır.



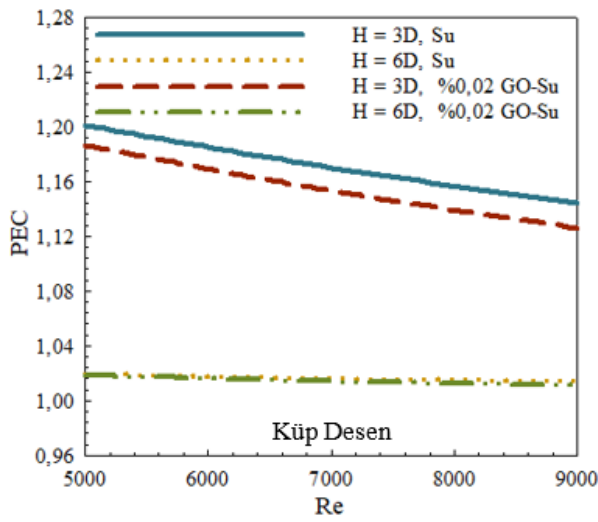


Şekil 9. GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı küp desen yüzeyli kanatçiksız ve 90° kanatçıklı kanallarda H = 3D ve H = 6D için Re = 9000' de (a) Hız (b) Sıcaklık konturu dağılımları

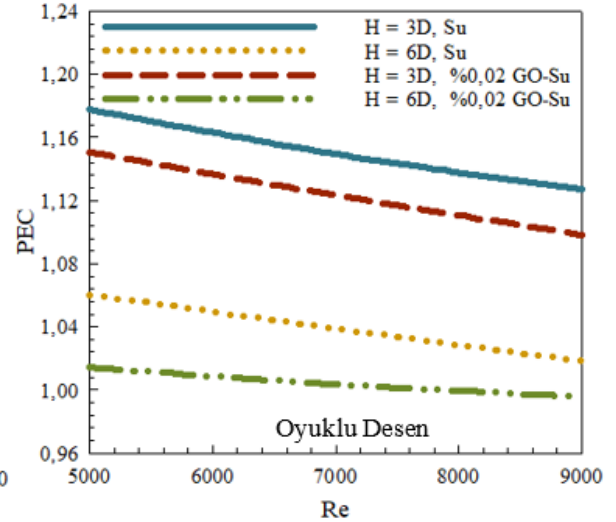
Şekil 10. GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı oyuklu desen yüzeyli kanatçiksız ve 90° kanatçıklı kanallarda H = 3D ve H = 6D için Re = 9000' de (a) Hız (b) Sıcaklık konturu dağılımları

Performans değerlendirme sayısı (PEC), birleşik jet akışlı kanallardaki küp ve oyuklu desenli yüzeylere ait H = 3D ve 6D kanal yükseklikleri ve su akışkanı ve GO-Su nanoakışkanı için sırasıyla Şekil 11 ve 12'de gösterilmektedir. PEC sayısı, birleşik jet akışlı kanallarda kanatçık kullanılması durumunda kanatçiksız duruma göre ortalama Nu sayısı artışının basınç düşüşü artışına karşı olan performansını göstermektedir. Bu nedenle, PEC sayısı fazla olan kanal ve akış şartlarının daha yüksek performanslı olduğu söylenebilir. Her iki şekil de incelendiğinde (Şekil 11 ve Şekil 12), en yüksek PEC sayısına H = 3D kanal yüksekliğinde su akışkanı için elde edildiği görülmektedir. Bununla

birlikte, nanoakışkan için sudan daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilirken, suya göre nanoakışkanın viskozitesinin daha yüksek olması sebebiyle sürtünme faktörü ve dolayısıyla kanaldaki basınç düşüşü daha fazla olduğundan PEC sayıları sudan daha düşüktür. Ayrıca, küp desen yüzeyli kanallarda oyuklu desen yüzeyli kanallara göre PEC sayılarının daha fazla olduğu grafiklerden kolaylıkla görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, $Re = 5000$ değerinde ve $H = 3D$ yükseklikli kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeylerde nanoakışkana göre %1,69 ve %1,74 daha fazla oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, genel itibarıyla küp desen yüzeyli kanallarda PEC sayısının oyuklu desen yüzeyli kanallardan daha fazla olması akışkanın küp desen yüzeyli kanalda pompalanmasında daha az basınç kaybı olduğunu ve dolayısıyla akışkanı pompalamada daha az enerji harcayacağını göstermektedir.



Şekil 11. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı küp desen yüzeyli kanallarda $H = 3D$ ve $H = 6D$ için PEC sayısının Re sayısına göre değişimi



Şekil 12. Su ve GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı oyuklu desen yüzeyli kanallarda $H = 3D$ ve $H = 6D$ için PEC sayısının Re sayısına göre değişimi

5. Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği şekilde özetlenebilir:

-Nanoakışkan kullanılan birleşik jet akışlı kanallarda Nu sayısı değerleri daha fazla olmakla birlikte, her iki desen yüzeyli kanal için $H = 3D$ 'de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri $H = 6D$ ' den daha yüksektir. Bununla birlikte, en düşük Nu sayısı değerleri, kanatçısız ve $H = 6D$ kanal yüksekliği durumunda elde edilmektedir.

-Su akışkanının kullanıldığı kanalda 1. sıradaki küp desenli yüzey için $Re = 7000$ ve $H = 3D$ kanal yüksekliğinde kanatçısız duruma göre kanatçığın kullanıldığı kanalda ortalama Nu sayısı değerinde %35,45 artış elde edilirken; aynı şartlarda $H = 6D$ olan kanal için bu artış değeri %3,41' e düşmektedir.

-Nanoakışkanının kullanıldığı kanatçıklı kanallarda küp desenli Desen 1' de $Re = 9000$ ve $H = 3D$ için yine kanatçıklı fakat su akışkanı olan kanala göre Nu sayısında %9,85 artış elde edilirken; bu artış

değeri kanatçiksız GO-Su nanoakışkanı ve kanatçiksız su akışkanları için sırasıyla %32 ve %47,14 olmaktadır.

-Oyuklu desenli yüzeyde Desen 1’de $Re = 5000$ ve $H = 3D$ için nanoakışkanın kullanıldığı kanatçıklı kanalda su akışkanına göre Nu sayısında %10,34’lük artış değerine ulaşılrken, bu değer kanatçiksız su akışkanı ve nanoakışkan kullanılan kanallar için sırasıyla %34,5 ve %19,83 olmaktadır.

-Desen 2 için Nu sayısı değerleri incelendiğinde çarpan jetin de etkisiyle Desen 1’e göre daha yüksek değerler elde edilmektedir. $Re = 9000$ olduğu durumda $H = 6D$ için GO-Su nanoakışkanı için Desen 1’e göre Desen 2’de küp desenli yüzeyde Nu sayısında %2,71 artış elde edilirken; oyuklu desenli yüzeyde Nu sayısı değeri %8,61 azalmıştır.

- Desen 3, kanal sonunda bulunduğundan genel itibariyle birleşik jet akışı etkisinin azaldığı desendir. Ancak, her iki desenli yüzey için de kanatçiksız durumlarda kanaldan gelen çapraz akışın çarpan jet akışını sürükleyerek Desen 3’e doğru yönlendirmesiyle Desen 2’ye göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilmektedir.

-Bunun yanı sıra, her iki desenli yüzey durumunda da kanatçıklı ve $H = 3D$ ’de Desen 3’e göre kanatçığın birleşik jet akışı Desen 1 ve Desen 2’ye yönlendirmesiyle Nu sayıları bu durumda azalırken; $H = 6D$ kanal yüksekliği için ise Desen 2’ye göre Nu sayıları artmaktadır.

-Desenli yüzeylerin sıcaklık değişimleri incelendiğinde, ortalama Nu sayısı değişimlerine paralel olarak ısı transferinin fazla olduğu $3D$ yükseklikli ve GO-Su nanoakışkanının kullanıldığı birleşik jetli kanallarda en düşük yüzey sıcaklıkları elde edilirken; en yüksek yüzey sıcaklıkları ise kanatçiksız ve $6D$ yükseklikli kanallarda görülmektedir.

- Her iki desenli yüzey için en düşük yüzey sıcaklıklarına birleşik jet etkisinin en fazla olduğu Desen 2’ de ulaşılrken; Desen 1 ve Desen 3’te nispeten daha yüksek sıcaklık değerleri görülmektedir. Ayrıca, oyuklu desenli yüzeylerde küp desenli yüzeylere kıyasla sıcaklık değerleri daha fazladır.

- Kanallardaki her üç desenli yüzey dikkate alındığında, kanatçıklı ve $H = 3D$ için GO-Su nanoakışkanlı birleşik jet akışlı kanalda su akışkanlı ve kanatçiksız kanala göre küp ve oyuklu desen yüzeyleri için Nu_m değerinde sırasıyla %45,04 ve %37,11’lik artışlar elde edilmiştir.

-Hız konturu dağılımlarına bakıldığında, her iki desenli yüzey ve kanal yüksekliği ($H = 3D, 6D$) için kanatçiksız durumda kanal girişinden gelen çapraz akışın Desen 2’nin üzerinden kanala giriş yapan çarpan jeti kanal çıkışına doğru sürüklemesiyle $H = 3D$ için Desen 2’nin üst yüzeyinin bir kısmı da dâhil olmak üzere özellikle $H = 6D$ ’lik kanalda ise sadece Desen 3 üzerinde akışkan hızında artış olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, kanatçiksız durumlarda Desen 3 için Desen 2 ve Desen 1 ile kıyaslandığında sıcaklık konturunda desenli yüzeylerin soğumasının daha iyi olduğu görülebilmektedir.

- Kanallara kanatçık eklendiğinde, özellikle Desen 2 ve Desen 3 yüzeyleri üzerinde ısı transferini artırıcı birleşik jet akışı etkisinin artması sağlanmaktadır.

- $H = 6D$ ’de $H = 3D$ ’ye göre desenli yüzeylerden olan ısı transferinde arzulanam iyileşme sağlanamamaktadır.

-Performans değerlendirme sayılarına (PEC) bakıldığında, nanoakışkan için ulaşılan değerlerin sudan daha az olduğu ve yine $H = 6D$ için PEC sayılarının $H = 3D$ 'den daha düşük olduğu görülmektedir. Kanal yüksekliğinin artışıyla basınç kaybının azalmasına rağmen; kanatçiksız kanaldakine göre kanatçıklı kanalda ortalama Nu sayısının (Nu_m), $H = 6D$ için oldukça az olması nedeniyle $H = 3D$ ile kıyaslandığında PEC değerleri her iki desenli yüzey için de daha düşüktür.

- $Re = 5000$ değerinde ve $H = 3D$ yükseklikli kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeylerde nanoakışkana göre %1,69 ve %1,74 daha fazla oldukları tespit edilmiştir.

Simgeler

| | |
|------------|---|
| A_k | Kanalın kesit alanı [m^2] |
| D | Jet giriş çapı [mm] |
| L | Kanalın boyu [mm] |
| W | Kanalın genişliği [mm] |
| H | Kanalın yüksekliği [mm] |
| m | Desenin bir kenar uzunluğu [mm] |
| P_k | Kanalın ıslak çevresi [m^2] |
| θ | Kanat açısı [$^\circ$] |
| f | Sürtünme faktörü [-] |
| h | Isı taşınım katsayısı [W/m^2K] |
| k_a | Akışkanın ısıl iletkenliği [W/mK] |
| V | Akışkanın kanal girişindeki hızı [m/s] |
| c_p | Akışkanın özgül ısısı [J/kgK] |
| p | Basınç [Pa] |
| q'' | Desenli yüzeylerdeki ısı akısı [W/m^2] |
| N | Kanatçığın jet girişinden olan uzaklığı [mm] |
| T | Sıcaklık [K] |
| u_i | x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri [m/s] |
| Re | Reynolds sayısı [-] |
| Nu | Nusselt sayısı [-] |
| μ | Dinamik viskozite [kg/sm] |
| μ_t | Türbülans viskozitesi [kg/sm] |
| ν | Kinematik viskozite [m^2/s] |
| ρ | Akışkanın yoğunluğu [kg/m^3] |
| k | Türbülanslı akışın kinetik enerjisi [m^2/s^2] |
| ϵ | Türbülans dağılımı terimi [m^2/s^3] |

Alt İndisler

- a Akışkan
- h Hidrolik
- j Jet
- k Kanal
- m Ortalama
- y Yüzey

Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Birimi tarafından TEKNO-2021-031 proje numarası 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.

Kaynakça

- Abdullah MF., Zulkifli R., Harun Z., Abdullah S., Wan Ghopa WA., Najm AS., Sulaiman NH. Impact of the TiO₂ nanosolution concentration on heat transfer enhancement of the twin impingement jet of a heated aluminium plate. *Micromachines* 2019; 10: 176.
- Alnak DE. Thermohydraulic performance study of different square baffle angles in cross-corrugated channel. *Journal of Energy Storage* 2020; 28: 101295.
- Alnak DE., Koca F., Alnak YA. Numerical investigation of heat transfer from heated surfaces of different shapes. *Journal of Engineering Thermophysics* 2021; 30: 494-507.
- Chang TB., Yang YK. Heat transfer performance of jet impingement flow boiling using Al₂O₃-water nanofluid. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2014; 28(4): 1559-1566.
- Dal A., Kılıç M., Akyüz A.Ö., Tuncer A.D., Gungor A. Effects of lubricant fluid with nanoparticle additive on the load capacity of a hydrostatic journal bearing. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* 2020; 7(2): 753-762.
- Datta A., Jaiswal A., Halder P. Heat transfer analysis of slot jet impingement using Nano fluid on convex surface. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering* 2018; 402: 012098.
- Demircan T. Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination. *Journal of Mechanics* 2019; 35(3); 395-404.

- Genç MS., Kaynak U., Lock GD. Flow over an aerofoil without and with a leading- edge slat at a transitional Reynolds number. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering 2009; 223: 217-231.
- Genç MS. Numerical simulation of flow over a thin aerofoil at a high Reynolds number using a transition model. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 2010; 24: 2155-2164.
- Genç M.S., Kaynak Ü., Yapıcı H. Performance of transition model for predicting low Re aerofoil flows without/with single and simultaneous blowing and suction. European Journal of Mechanics B/Fluids 2011; 30: 218-235.
- Hadipour A., Zargarabadi MR. Heat transfer and flow characteristics of impinging jet on a concave surface at small nozzle to surface distances. Applied Thermal Engineering 2018; 138: 534-541.
- Hajjar Z., Rashidi A., Ghosatloo A. Enhanced thermal conductivities of graphene oxide nanofluids. International Communications in Heat and Mass Transfer 2014; 57: 128-131.
- Hummers WS., Offeman RE. Preparation of graphitic oxide. Journal of American Chemical Society 1958; 80: 1339.
- Incropera FP., Dewit DP., Bergman TL., Lavine AS. Fundamentals of heat and mass transfer. 6th Ed. In: John Wiley&Sons; 2007.
- Jalali E., Sajadi SM., Ghaemi F., Baleanu D. Numerical analysis of the effect of hot dent infusion jet on the fluid flow and heat transfer rate through the microchannel in the presence of external magnetic field. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2022; 147: 8397-8409.
- Karabulut K. Heat transfer improvement study of electronic component surfaces using air jet impingement. Journal of Computational Electronics 2019; 18: 1259-1271.
- Karabulut K., Alnak DE. Study of cooling of the varied designed warmed surfaces with an air jet impingement. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 2020; 26(1): 88-98.
- Karabulut K., Buyruk E., Kilinc K. Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2020; 42: 230.
- Karabulut K., Alnak DE. Dikdörtgen bir kanaldaki farklı desenli yüzey geometrilerinin ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi 2021; 183: 37-49.
- Karabulut K., Alnak DE. Investigation of graphene oxide-distilled water nanofluids with consideration of heat transfer and flow structure for backward-facing step flow. Journal of Engineering Thermophysics 2021; 30(2): 300-316.
- Karabulut K., Alnak DE. Investigation of the variation of cooling performance with the channel height in a channel having impinging jet-cross flow. ISPEC 12th International Conference on Engineering&Natural Sciences, 24-25 December 2021, sayfa no: 273-290, Bingöl.

- Kılıç M. Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2018; 33(3): 121-132.
- Kılıç M., Ullah A. Numerical investigation of effect of different parameter on heat transfer for a crossflow heat exchanger by using nanofluids. Journal of Thermal Engineering 2021; 7(14): 1980-1989.
- Kılıç M., Abdulvahitoglu A. Numerical investigation of heat transfer at a rectangular channel with combined effect of nanofluids and swirling jets in a vehicle radiator. Thermal Science 2019; 23(6A): 3627-3637.
- Kilic M., Calisir T., Baskaya S. Experimental and numerical study of heat transfer from a heated fat plate in a rectangular channel with an impinging air jet. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2016; 39(1): 329–344.
- Kilic M., Calisir T., Baskaya S. Experimental and numerical investigation of vortex promoter effects on heat transfer from heated electronic components in a rectangular channel with an impinging jet. Heat Transfer Research 2017; 48(5): 435-463.
- Kumar D., Zunaid M., Gautam S. Heat sink analysis in jet impingement with air foil pillars and nanoparticles. Materials Today: Proceedings 2021; 46(20): 10752-10756.
- Lakshminarayanan V., Sriraam N. The effect of temperature on the reliability of electronic components. IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (CONECCT), 6-7 January 2014, sayfa no:1-6, India.
- Ma CF., Bergles AE. Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips. Heat Transfer In Electronic Equipment HTD 1983; 28: 5-12.
- Maghrabie HM., Attalla M., Fawaz HE., Khalil M. Numerical investigation of heat transfer and pressure drop of in-line array of heated obstacles cooled by jet impingement in cross-flow. Alexandria Engineering Journal 2017; 56: 285-296.
- Masip Y., Rivas A., Larraona GS., Anton R., Ramos JC., Moshfeqh B. Experimental study of the turbulent flow around a single wall-mounted cube exposed to a cross-flow and an impinging jet. International Journal of Heat and Fluid Flow 2012; 38: 50-71.
- Mergen S. Kanal içi akış ve çarpan jet ile birlikte elektronik eleman soğutulmasının sayısal olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 48, Ankara, Türkiye, 2014.
- Pak BC., Cho YI. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. Experimental Heat Transfer 1998; 11(2): 151-170.
- Saleha N., Fadela N., Abbes A. Improving cooling effectiveness by use chamfers on the top of electronic components. Microelectronics Reliability 2015; 55: 1067-1076.

- Selimefendigil F., Chamkha AJ. Cooling of an isothermal surface having a cavity component by using CuO-water nano-jet. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow* 2020; 30(4), 2169-2191.
- Shi W., Li F., Lin Q., Fang G. Experimental study on instability of round nanofluid jets at low velocity. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2021; 120, 110253.
- Öztürk SM., Demircan T. Numerical analysis of the effects of fin angle on flow and heat transfer characteristics for cooling an electronic component with impinging jet and cross-flow combination. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2022; 37(1): 57-74.
- Taylor JR. *An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements*, University Science Books, Sausalito; 1997.
- Teamah MA., Dawood MM., Shehata A. Numerical and experimental investigation of flow structure and behaviour of nanofluids flow impingement on horizontal flat plate. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2015; 74: 235-246.
- Wang SJ., Mujumdar AS. A comparative study of five low Reynolds number k- ϵ models for impingement heat transfer. *Applied Thermal Engineering* 2005; 25: 31-44.

Farklı Penetrasyon Sınıfına Ait Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Taylan GÜNAY^{1*}

¹ Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-2669-6320>

*Sorumlu yazar: taylan.gunay@ege.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.06.2022

Kabul tarihi: 26.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Bitüm

Reoloji

Deformasyon

Yorulma ömrü

ÖZ

Esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmaların büyük bir çoğunluğunun bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm ve bitümün deformasyon özellikleriyle ilişkili olabileceği bilinmektedir. Bu nedenle, viskoelastik ve termoplastik bir malzeme olan bitümün sıcaklık ve trafik etkisi altında deformasyon davranışlarının bilinmesi önem arz etmektedir. Çalışmada, ülkemizde kullanılmakta olan B50/70 ve B160/220 sınıfına ait bağlayıcıların reolojik özellikleri güncel deney yöntemleriyle incelenmiş, iki bağlayıcı türüne ait reolojik parametrelerde meydana gelen farklılıklar araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışmanın ilk aşamasında bağlayıcıların penetrasyon, yumuşama noktası, viskozite gibi fiziksel özelliklerine ait parametreler tespit edilmiş, ayrıca dönel ince film halinde ısıtma etüvü (RTFO) ve basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) yardımıyla bağlayıcıların çeşitli reolojik deneylerde kullanılmak üzere kısa ve uzun vadeli yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların ardından, reolojik deney programına geçilmiştir. Buna göre, farklı genlik (amplitude sweep) deneyleri yardımıyla bağlayıcı türlerinin viskoelastik limit (LVE) değerleri belirlenmiş, küçük genlik salınım kesme deneyi (SAOS) ile bağlayıcıların zamana bağlı deformasyon davranışları gözlemlenmiştir. SAOS deneyi verileri yardımıyla bağlayıcı türlerine ait ana eğriler oluşturularak daha geniş bir frekans aralığında bağlayıcıların depolama ve kayıp modülü parametreleri araştırılmıştır. Güncel bir yorulma deneyi olan lineer genlik tarama (LAS) testi ile bağlayıcıların yorulma ömürleri belirlenmiştir. Elde edilen test parametreleri neticesinde B50/70 ve B160/220 bitümleri arasındaki reolojik farklılıklar karşılaştırılmalı olarak ortaya konmuştur. SAOS deneyi verilerine göre B160/220 bağlayıcısının 40 °C'nin üzerinde tümüyle viskoz davranış biçimini sergileyebileceği ortaya konmuştur. LAS deneyi neticesinde düşük deformasyon mertebelerinde B50/70 bitümünün B160/220 bağlayıcısına göre daha uzun bir yorulma ömrü olabileceği belirlenmiştir.

Comparison of Rheological Properties of Bitumens Having Various Penetration Classes

Research Article

Article History:

Received: 24.06.2022

Accepted: 26.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Bitumen

Rheology

Deformations

Fatigue

ABSTRACT

As known, most of the deteriorations in flexible pavements are related to the deformation properties of the bitumen used as a binder. For this reason, it is fundamental to know the deformation behavior of bitumen which is a viscoelastic and thermoplastic material. In this study, the rheological properties of binders having B50/70 and B160/220 penetration classes were investigated with multiple test methods, and the differences in rheological parameters of these two binders were determined. For this purpose, in the first stage of the study, the physical properties of the binders such as penetration softening point, viscosity were determined, and the short and long-term aging processes of the binder were conducted by means of rotating thin film heating oven (RTFO) and a pressure aging vessel (PAV) tests. After these studies, the rheological experiment program was applied. The viscoelastic limit (LVE) ranges of individual binder types were determined by amplitude experiments, and the time-dependent deformation behavior of binders was observed with the small amplitude

oscillation shear (SAOS) test. By means of SAOS test data, the master curves of the binders were drawn, and the storage and loss moduli of the binders were investigated within a wide frequency range. As a result of the test parameters obtained, the rheological differences between B50/70 and B160/220 bitumen were rheologically investigated. SAOS tests proves that B160/220 might exhibit completely viscous behavior over 40 °C. According to LAS test results B50/70 could have a longer fatigue life compared to that of B160/220.

To Cite: Günay T. Farklı Penetrasyon Sınıfına Ait Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 682-699.

1. Giriş

Esnek üstyapılarda agregalar arası bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm termoplastik ve viskoelastik özelliktedir (McNally, 2011; Rossi ve ark., 2015). Termoplastik özellik sıcaklık artışıyla birlikte polimer zincirlerin zayıflaması ve bu sayede malzemenin yumuşayarak şekil alabilir hale gelebilmesini ifade etmektedir. Sıcaklık değişimi malzemelerin deformasyon biçimleri üzerinde rol oynar. Buna göre, bitüm düşük sıcaklıkta katı madde gibi davranırken yüksek sıcaklıkta viskoz akışkan özelliktedir. Viskoelastikte, malzemenin uygulanan yük altında hem viskoz hem de elastik deformasyon davranışlarının bir arada göstermesini ifade etmektedir. Buna göre, bitümlü malzemeler uygulanan yük altında deformasyona uğramakta yük sonucu meydana gelen bu deformasyonun belirli bir kısmı yükün ortadan kaldırılmasıyla birlikte geri kazanılmaktadır. Deformasyonun bu bileşeni elastik deformasyon olarak adlandırılırken geri dönmeyen, viskoz sıvı davranışın neticesinde oluşan deformasyon ise kalıcı deformasyon olarak isimlendirilir (Lesueur, 2009; Ahmedzade, 2013).

Günümüz koşullarında taşıt sayısının ve trafiğe ait yüklerinin artması neticesinde karayollarında meydana gelen bozulmaların yaygınlaştığı görülmektedir. Esnek üstyapıdaki deformasyonun sınırlandırılması için başta bağlayıcı olmak üzere malzeme özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Ahmedzade, 2013).

Son yıllarda, reoloji alanında bitümlü bağlayıcı ve daha geniş perspektifte viskoelastik malzemeler için birçok yeni test yöntemi geliştirilmiştir. Bu deney yöntemlerinde, farklı yükleme hızı ve deformasyon miktarları kullanılarak bağlayıcı malzemeye esnek üstyapıda meydana gelen gerilmelerin gerçeğe uygun biçimde modellenmesi sağlanmakta ve bu sayede oluşması muhtemel bozulmalar daha iyi şekilde ön görülebilmektedir. Bu deneyler, bağlayıcının viskoelastik deformasyon sınırları içerisinde veya dışında gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle, bağlayıcıların viskoelastik davranış özelliklerinin yanı sıra yorulma ömrü gibi daha yüksek deformasyon seviyelerinin ve yük tekrarının söz konusu olduğu durumlar da incelenmektedir. Çalışma kapsamında, ülkemizde kullanılmakta olan B50/70 ve B160/220 olmak üzere iki farklı penetrasyon sınıfına ait bağlayıcılar üzerinde bir reolojik deney programı uygulanmış ve bu sayede farklı sertlik ve özellikte olan bu bağlayıcı türlerinin reolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen reolojik verilerin kendi aralarında kıyaslanması suretiyle meydana gelen farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sayede ülkemiz literatüründe mevcut olan reolojik deney yöntemlerinin yanı sıra güncel deney yöntemlerinin de kullanımının artırılması ve aynı zamanda ülkemize ait farklı sertlik özelliklerine sahip bağlayıcı türlerinin bu deney yöntemleriyle incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu bağlamda, bağlayıcılar üzerinde, öncelikle geleneksel test yöntemleri olarak da isimlendirilen penetrasyon, yumuşama noktası gibi fiziksel test yöntemleri uygulanmış ve bağlayıcıların temel fiziksel özellikleri saptanmıştır. Dönel viskozite (RV) deneyi yardımıyla bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C'deki viskozite değerleri belirlenmiş, ardından viskozite değerleri kullanılarak bu bağlayıcı türleriyle elde edilecek bitümlü sıcak karışımların (BSK) ideal sıkıştırma ve karıştırma sıcaklık aralıkları hesaplanmıştır.

Reolojik deneyler öncesinde, bağlayıcıların viskoelastik deformasyon limitleri (LVE) belirlenmesi ve bu limit değerlere göre testlerde doğru deformasyon değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, reolojik deneylerin ilk adımı olarak bağlayıcılar üzerinde genlik tarama (amplitude sweep) deneyleri yapılmıştır (Yusoff, 2011). Bağlayıcıların LVE değerlerinin belirlenmesinin ardından küçük genlik salınım kesme deneyi (Small amplitude oscillatory shear test- SAOS) 10-50 °C sıcaklık ve 0,01-100 rad/sn aralığında gerçekleştirilmiştir. Zaman-sıcaklık süperpozisyon prensibi (TTS) kullanılarak bağlayıcıların depolama modülü (G'), kayıp modülü (G'') parametrelerine ait ana eğriler (master curve) oluşturulmuştur. Ana eğrilerin hazırlanmasında kullanılan kaydırma faktörü (shift factor) değerleri, Arrhenius ve WLF eşitlikleriyle karşılaştırılmıştır. Son yıllarda, yorulma ömrünün tahmininde yaygın biçimde kullanılan lineer genlik tarama (LAS) deneyi farklı penetrasyona sahip bağlayıcılar üzerinde uygulanmış ve bu sayede yorulma ömrüne ilişkin, A ve B parametreleri, malzeme bütünlüğü (C), hasar yoğunluğu (D) ve yorulma ömrü (N_f) parametreleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, B50/70 ve B160/200 penetrasyon sınıfına sahip bitümler çalışmada bağlayıcı malzeme olarak kullanılmak üzere Tüpraş Aliğa rafinerisinden temin edilmiştir. B50/70 sınıflı bitümün genel olarak (polimer katkılarla modifiye edilmek suretiyle) orta ve yüksek sıcaklık bölgesinde kullanımı uygun iken, B160/220 bitümü sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde, termal çatlakların meydana gelmesini azaltmak amacıyla kullanılabilir. Sertlik açısından belirgin bir farka sahip olan bu iki bitümün çalışmada kullanılmasıyla birlikte, bu iki bağlayıcı türü arasında reolojik olarak farklılaşmaların gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

2.1. Bağlayıcıların Kısa ve Uzun Vadeli Yaşlandırılması

Reolojik deneylerin bazıları kısa ve uzun vadeli yaşlandırılmış bağlayıcılar üzerinde gerçekleştirilmektedir. Basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) ile uzun vadeli yaşlandırma işlemleri için öncelikle bağlayıcıların kısa vadeli yaşlandırılmalarının tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu maksatla, B50/70 ve B160/220 penetrasyon sınıfına sahip bağlayıcıların kısa vadeli yaşlandırılma işlemleri dönel ince film etüvü (RTFO) yardımıyla PAV deneyi öncesinde tamamlanmıştır. RTFOT deneyi, ASTM D2872 şartnamesine uygun olarak gerçekleştirilmiştir (ASTM D2872, 2012). Kısa vadeli yaşlandırılmış bağlayıcılar üzerinde gerçekleştirilen PAV deneyleri ise ASTM D6521 standardına göre yapılmıştır (ASTM D6521, 2019).

2.2. Geleneksel Deney Yöntemleri

Çalışmada kullanılan iki farklı penetrasyona sahip bağlayıcı türünün fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla geleneksel deney yöntemleri olarak adlandırılan penetrasyon, yumuşama noktası deneyleri bağlayıcılar üzerinde uygulanmıştır. Penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri ilgili Türk Standartlarına, uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 1426, 2015; TS EN 1427, 2015). Çalışmada ayrıca, penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinin bir arada kullanılmasıyla hesaplanan ve bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetini gösteren penetrasyon indeksi parametreleri bu bağlayıcı türleri için aşağıda verilen Denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500x(\log(Pen_{25}) - 20xSP)}{50x\log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (1)$$

Burada PI; penetrasyon indeksi, SP; bağlayıcı türünün yumuşama noktasını, Pen₂₅; bağlayıcının 25 °C'deki penetrasyon değerini ifade etmektedir.

2.3. Dönel Viskozite Deneyi

Farklı penetrasyon değerlerine sahip bağlayıcıların yüksek sıcaklık bölgesinde akışkanlık özelliklerinin incelenmesi için Brookfield, dönel viskozite cihazı kullanılmıştır. ASTM D 4402 standardına uygun olarak, viskozimetre cihazına takılan ve 20 dev/dakika hıza sahip dönen silindirik bir uç (spindle) yardımıyla bağlayıcıların dönel viskozite değerleri tayin edilmiştir (ASTM D 4402, 2006). Çalışmada viskozite değerleri, 135 ve 165 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta okunmuştur. Bu viskozite okumaları yardımıyla ayrıca bu bağlayıcı türleriyle hazırlanacak bitümlü sıcak karışımların ideal karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları matematiksel yöntemlerle hesaplanmıştır.

2.4. Küçük Genlik Salınım Kesme Deneyi

Küçük genlik salınım kesme (SAOS) deneyi bağlayıcının viskoelastik limitleri (LVE) içerisinde sabit bir deformasyon değerinde belirli bir frekans aralığında gerçekleştirilen reolojik bir test yöntemidir. Dinamik kayma reometresi (DSR) cihazı yardımıyla sabit deformasyon altında uygulanan frekansların değiştirilmesiyle gerçekleştirilen bir reolojik deney türüdür. Bu sayede bağlayıcının yükleme hızına karşı hassasiyeti değerlendirilebilir. SAOS deneyi bağlayıcının viskoelastik limitleri içerisinde gerçekleştirildiği için deney öncesinde, bağlayıcılara ait LVE değerlerinin tespit edilerek bu değerler altında bir deformasyon değerinin seçilmesi gereklidir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında bağlayıcıların öncelikle genlik tarama deneyi ile LVE değerleri belirlenmiş ardından LVE sınırları içerisinde kalan ortak bir deformasyon değeri tayin edilmesi suretiyle SAOS deneyleri uygulanmıştır. LVE deneyleri sonrası bağlayıcılara %1'lik deformasyon uygulanması uygun görülmüştür. Çalışmada kullanılan, Anton Paar Smart Pave dinamik kayma reometresi cihazına ait görünüm Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. DSR cihazının görüntüsü

SAOS deneyinden elde edilen veriler, diğer reolojik çalışmalarda da kullanılabilirdiğinden uygulanan frekans aralığının (reometrenin tork değerlerini kontrol edilerek) olabildiğince geniş bir aralıkta seçilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında uygulanan SAOS deneyleri, 0,01-100 rad/sn frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Deney sıcaklığı, bağlayıcıların fiziksel sertlik durumları dikkate alınarak 10-50°C aralığında 10 °C artışlar şeklinde seçilmiştir. Sıcaklık değerlerine bağlı olarak 8 mm (düşük sıcaklıklarda 10-30 °C) ve 25 mm (40-50 °C) olmak üzere iki farklı düz plaka, deney geometrisi olarak çalışmada kullanılmıştır. Bu başlıklara ait görüntü Şekil 2’de gösterilmiştir. (Laukkanen ve Winter, 2018).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan 8 ve 25 mm’lik DSR başlıkları

2.5. Zaman Sıcaklık Prensibiyle Ana Eğrilerin Oluşturulması

SAOS deneyinden elde edilen depolama ve kayıp modülü gibi reolojik parametrelerin, zaman sıcaklık süper pozisyon (time-temperature superposition, TTS) prensibi uygulanarak belirlenen bir referans sıcaklık derecesinde daha geniş bir frekans aralığında incelenmesi mümkündür. Ana eğri (master curve) olarak isimlendirilen bu grafikler yardımıyla reometrelerin okumasının mümkün olmadığı kadar düşük ve yüksek frekanslarda bağlayıcının reolojik özelliklerine ait veriler incelenebilmektedir.

Çalışma kapsamında bağlayıcılara ait kompleks kayma modülü, depolama modülü ve kayıp modülü parametrelerine ait ana eğriler SAOS verileri yardımıyla oluşturulmuştur. SAOS deneylerinde kullanılan parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ana eğrilerin oluşturulması için seçilen SAOS deney parametreleri

| Kullanılan frekanslar (rad/sn) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100 | 54,1 | 29,3 | 15,8 | 8,58 | 4,64 | 2,51 | 1,36 | 0,74 | 0,40 | 0,21 | 0,12 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Sıcaklıklar (°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | 20 | | | 30 | | | 40 | | | 50 | | | |

Ana eğrilerin oluşturulmasında kullanılan kayma faktörlerini (shift factors) dinamik kayma reometresine ait yazılım matematiksel hesap yöntemleriyle otomatik olarak hesaplamaktadırlar. Bu hesaplanan kaydırma faktörleri Denklem 2 ve Denklem 3’te verilen Williams–Landel–Ferry (WLF) ve Arrhenius eşitliklerinden hesaplanan kaydırma faktörleriyle kıyaslanmıştır. Çalışmada ayrıca, Arrhenius eşitliği yardımıyla bağlayıcıların aktivasyon enerjileri (ΔH) hesaplanmıştır (Williams ve ark., 1955; Lytton ve ark., 1993).

$$\log a_t = \frac{C_1(T-T_{ref})}{C_2+(T-T_{ref})} \quad (2)$$

$$\log a_t = C \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) = \log \frac{E_a}{2.303 R} = \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \quad (3)$$

Burada, C_1 ve C_2 malzemeye ait ampirik parametreler, a_t kaydırma faktörü, T deney sıcaklığı, T_{ref} referans sıcaklık, E_a aktivasyon enerjisi, R evrensel gaz sabitidir.

2.6. Lineer Genlik Tarama (LAS) Deneyi

Son yıllarda geliştirilmiş olan Lineer genlik tarama (LAS) deneyiyle bağlayıcıların orta sıcaklık bölgesindeki yorulma ömrünün tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. Standartları AASHTO TP101’de tanımlanan LAS deneyi, viskoelastik sürekli hasar (Viscoelastic continuum damage, VECD) teorisine bağlı olarak bağlayıcıya %0’dan başlamak suretiyle %30 mertebesine kadar sürekli lineer şekilde artan deformasyon miktarları uygulanmaktadır (AASHTO TP101, 2012). Yorulma deneyleri genel olarak yaşlandırılmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla, dönel ince film halinde ısıtma etüvü (RTFO) ile kısa vadeli yaşlandırılması gerçekleştirilmiş bağlayıcı numunelerin ayrıca basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) ile uzun vadeli olarak yaşlandırılması ve bu şekilde LAS deneylerinde kullanılmaları gerekmektedir.

VECD teorisine göre bağlayıcıya uygulanan deformasyon miktarı ve yine bağlayıcıya ait A ve B parametreleri yardımıyla bağlayıcıların yorulma ömrü (N_f) aşağıdaki verilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır (Hassanpour Kasanagh ve ark. 2021); Bunun için, LAS deneyi öncesinde frekans

deneyi ile kompleks kayma modülü $|G^*|(\omega)$ ve faz açısı $\delta(\omega)$ parametreleri belirlenir. Bu sayede Denklem 4 kullanılarak bağlayıcıya ait depolama modülü $G'(\omega)$ tayin edilir.

$$G'(\omega) = |G^*|(\omega) \times \cos \delta(\omega) \quad (4)$$

Bağlayıcının depolama modülü değerinin $G'(\omega)$ açısal frekansla (ω) olan ilişkisi aşağıda verilen şekilde modellenebilir (Denklem 5).

$$\log G'(\omega) = m(\log \omega) + b \quad (5)$$

m, yani eğimin tersi α parametresidir (Denklem 6).

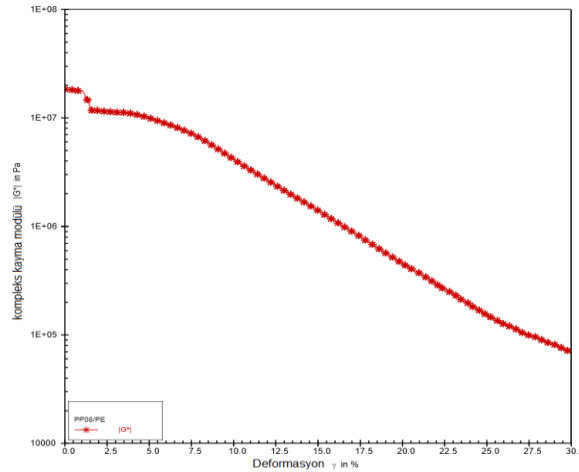
$$\alpha = \frac{1}{m} \quad (6)$$

Bağlayıcıda oluşan hasar birikimi $D(t)$ Denklem 7 ile hesaplanır.

$$D(t) \cong \sum_{i=1}^N [\pi \gamma_{p,i}^2 (C_{i-1} - C_i)]^{1+\alpha} (t_i - t_{i-1})^{\frac{1}{1+\alpha}} \quad (7)$$

Burada C'nin (zamana bağlı parametreleri) hesaplanan andaki kompleks kayma modülü değerinin başlangıç kompleks kayma değerine oranı; $\gamma_{p,i}$ uygulanan kayma deformasyonu genliği, t ise hasar birikiminin hesaplandığı anı ifade etmektedir.

Şekil 3'te LAS deneyinde elde edilen tipik bir deformasyon miktarına bağlı bağlayıcının kompleks kayma modülünün değişimi görülmektedir. Bu egride sayesinde, belirli bir andaki kompleks kayma modülü ile başlangıç anındaki kompleks kayma modülü değerleri saptanabilmekte, bu sayede C parametresi yukarıda belirtildiği şekilde hesaplanabilmektedir.



Şekil 3. LAS deneyine ait tipik kompleks kayma modülü vs. deformasyon eğrisi

Malzeme bütünlüğünün zamana bağlı denklem modeli Denklem 8' de gösterilmiştir.

$$C(t) = C_0 - C_1 D(t)^{C_2} \quad (8)$$

Burada C_0 , malzeme bütünlüğünün başlangıç değeri (genellikle 1 alınır), C_1 ve C_2 , parametrik katsayılarıdır.

Yorulma noktasındaki hasar yoğunluğu (D_f) Denklem 9 ile hesaplanmaktadır.

$$D_f = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_1} \right)^{1/C_2} \quad (9)$$

Bitümün yorulma performansının tayinin de kullanılan A ve B parametreleri sırasıyla Denklem 10 ve Denklem 11 ile belirlenmektedir.

$$A = \frac{f \cdot D_f^{1+\alpha(1-C_2)}}{[1+\alpha(1-C_2)](\pi \cdot C_1 \cdot C_2)^\alpha} \quad (10)$$

$$B = 2\alpha \quad (11)$$

A, B parametrelerinin belirlenmesiyle birlikte bitümlü bağlayıcılar için yorulma ömrü (N_f) tahmin edilebilmektedir (Denklem 12).

$$N_f = A \times (\gamma_p)^{-B} \quad (12)$$

Burada, A ve B deneysel parametreler, bağlayıcıda meydana gelen deformasyondur.

LAS deneyi yardımıyla hesaplanan A ve B parametreleri sırasıyla bağlayıcının bütünlüğünü koruma (structural integrity) ve deformasyon değişimine olan hassasiyeti ifade etmektedir (Hassanpour Kasanagh ve ark. 2021). Araştırma kapsamında bağlayıcılar üzerinde uygulanan LAS deneyleri orta sıcaklık sınıfını temsil etmek üzere 25 °C'de gerçekleştirilmiştir. Deney geometrisi olarak, reometrenin tork gücünün aşılması için standartlara uygun olarak 8 mm numune çapı ve 2mm plakalar arası kalınlık kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, bağlayıcılara ait A ve B parametreleri belirlenmiş, malzeme bütünlüğü (C) hasar yoğunluğuna (D) bağlı olarak tespit edilmiş ve son olarak ilgili parametreler kullanılarak bağlayıcıların %2,5 ve %5,0 deformasyon değerlerine karşılık gelen N_f değerleri hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Geleneksel Deney Yöntemleri

Bağlayıcılara ait temel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen fiziksel deney yöntemlerine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde beklenildiği üzere B50/70 bağlayıcısının B160/220 sınıflı bağlayıcıya göre daha düşük penetrasyon ve daha yüksek yumuşama noktası değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç, aynı sıcaklık koşulları altında bu iki viskoelastik malzeme türünden B50/70 bağlayıcısının daha viskoz özellikte olduğunu ifade etmekte, bu da bu bağlayıcı türünün orta ve yüksek sıcaklık bölgesindeki uygulamalardaki uygunluğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, B50/70 bağlayıcısına göre yumuşak yapıda olan B160/220 bağlayıcısının daha düşük sıcaklığa sahip iklimler için uygun olduğu görülmektedir. Bağlayıcıların penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri yardımıyla hesaplanan penetrasyon indeksi değerleri incelendiğinde (Tablo 2), B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarının birbirlerine oldukça yakın PI değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu sonuç, ısı hassasiyetini ifade eden PI değerinin bağlayıcının sertlik değeriyle doğrudan ilişki olmadığı sıcaklık karşısında bağlayıcının sertlik durumundaki değişimi ortaya koyduğunu vurgulamaktadır. Genel olarak (-2,0 ve +2,0) aralığında PI değerlerine sahip bitümlerin yol esnek üstyapılarında bağlayıcı malzeme olarak kullanımının uygunluğu literatürde belirtilmektedir (Button ve ark., 1982).

Tablo 2. Geleneksel test yöntemlerine ait sonuçlar

| Özellikler | Bağlayıcı türleri | |
|--------------------------|-------------------|--------|
| | B160/220 | B50/70 |
| Penetrasyon (0,1 mm) | 185 | 58 |
| Yumuşama noktası (°C) | 37,5 | 47,5 |
| Penetrasyon indeksi (PI) | -1,55 | -1,52 |

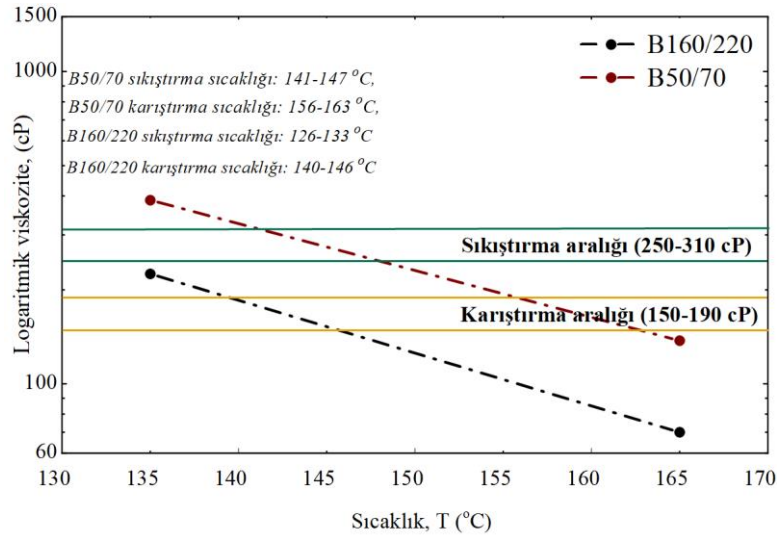
3.2. Dönel Viskozite Deneyi

Şekil 4’te B50/70 ve B160/220 katkılı bağlayıcıların 135 ve 165 °C’deki viskozite değerleri grafik olarak verilmiştir. Viskozite değerleri incelendiğinde, B50/70 bağlayıcı türünün viskozite değerlerinin B160/220 bağlayıcısına göre her iki sıcaklık derecesinde de yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4’te bitümlü sıcak karışımlar için karıştırma ideal bağlayıcı viskozite değerleri (150 - 190 cP), sıkıştırma için ideal bağlayıcı viskozite değerleri (250 - 310 cP) log-viskozite/sıcaklık eğrisinde işaretlenmiştir. Bağlayıcıların viskozite eğrilerine ait logaritmik denklemler matematiksel olarak belirlenerek ideal karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları hesap yoluyla bulunmuştur. Tablo 3’te verilen ideal karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları incelendiğinde, viskozite değerlerine paralel olarak B50/70 bağlayıcısının ideal karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Ancak, dönel viskozite deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, her iki bağlayıcı türünün de Superpave bağlayıcı şartnamesinde tanımlanan 3000 cP üst limit değerinin çok altında viskozite değerlerine sahip oldukları görülmektedir (Ghuzlan ve ark., 2013). Benzer şekilde, ideal karıştırma ve sıkıştırma

sıcaklıklarının da enerji sarfiyatı veya bitümün degradasyona (kimyasal bozulma) uğrayabileceği sıcaklık değerlerine erişmediği çalışma kapsamında belirlenmiştir (Chakravarty ve ark. 2021).

Tablo 3. Saf ve SBS katkılı bağlayıcılara ait dönel viskozite deney sonuçları

| Bağlayıcı Türü | RV (cP) | | Sıkıştırma Sıcaklığı (°C) | Karıştırma Sıcaklığı (°C) |
|----------------|---------|-------|---------------------------|---------------------------|
| | 135°C | 165°C | | |
| B160/220 | 225,0 | 70,0 | 126-133 | 140-146 |
| B50/70 | 387,5 | 137,5 | 141-147 | 156-163 |

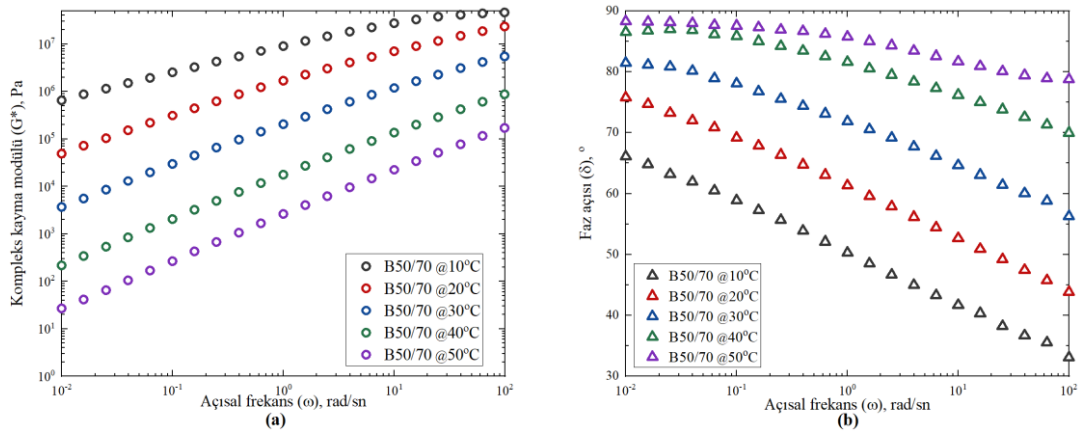


Şekil 4. B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarına ait viskozite-sıcaklık eğrileri

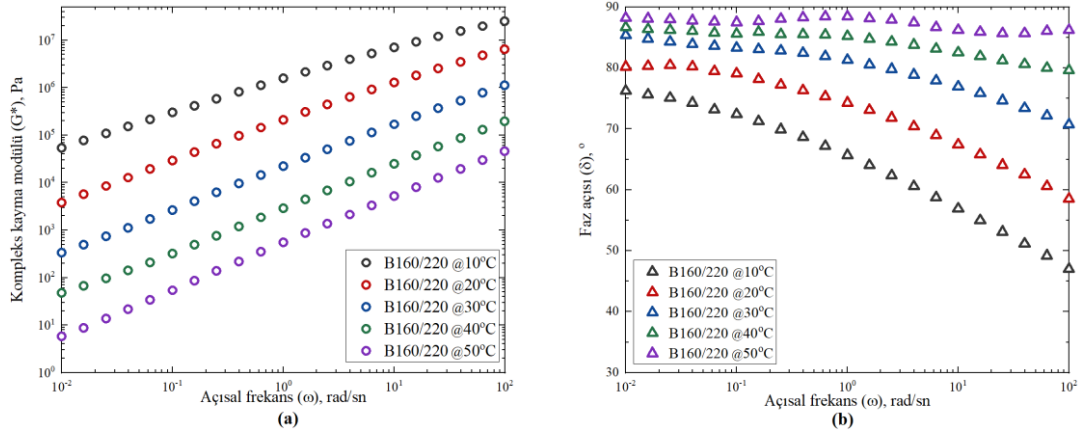
3.3. Küçük Genlik Salınım Kesme Deneyi

B50/70 ve B160/220 sınıfına ait bağlayıcıların yükleme süresine bağlı olarak deformasyon özelliklerinin incelenmesi amacıyla çalışma kapsamında küçük genlik salınım kesme (SAOS) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney neticesinde elde edilen kompleks kayma modülü ve faz açısı değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Buna göre, 0,01-100 rad/sn aralığında, her frekans değerinde B50/70 türü bağlayıcının kompleks kayma dayanımı değerlerinin, B160/220 türü bağlayıcının kompleks kayma dayanımı değerlerine göre daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bilindiği üzere, kompleks kayma dayanımı depolama ve kayıp modüllerinin bileşkesidir ve bağlayıcıların kayma gerilmelerine karşı dayanımını ortaya koymaktadır. Depolama modülü, malzemede depolanabilen enerjiyi ve dolayısıyla elastikiyet kabiliyetini sembolize ederken, kayıp modülü malzemenin uygulanan dairesel gerilme neticesinde kaybolan enerjiyi ifade etmektedir. Yüksek kompleks kayma modülü değerleri bağlayıcıların kayma dayanımı direncinin de daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte, trafiğin durağan olduğu durumu ifade eden düşük frekans değerlerinde, iki bağlayıcı türüne ait kompleks kayma dayanımları arasındaki farkın daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu sonuç, bağlayıcıların yükleme zamanına bağlı deformasyon özelliğini ortaya koymakta, ayrıca B50/70 bitümünün tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonların en sık rastlandığı

durağan trafikte B160/220 bitümüne göre belirgin biçimde daha dirençli olduğunu ifade etmektedir (Salehfard ve ark., 2017). Şekil 5.a'da verilen B50/70 bitümüne ait G^* parametresi incelendiğinde, orta sıcaklık bölgesinde (30-50 °C), artan frekans değerlerine karşılık (logaritmik ölçekte) bu parametrenin orantılı biçimde artma eğiliminde olduğu, ancak test sıcaklığının azalmasıyla birlikte (özellikle 10-20 °C aralığında) parametredeki artış miktarının azaldığı, diğer bir ifadeyle G^* eğrisinin düşük sıcaklık ve yüksek frekans bölgesinde düzleşme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, verilen B160/220 bağlayıcısının G^* değerlerinin sıcaklık ve frekans değişimine karşı daha lineer bir değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 6.a). SAOS deneylerine ait diğer bir reolojik parametre olan faz açısı (δ) değeri viskoelastik malzeme uygulanan yükleme anı ve yükleme sonucu malzemede meydana gelen deformasyonun oluşma süresi arasındaki farkı ifade etmekte ve bu şekilde malzemenin elastik davranışı hakkında bilgi vermektedir. B160/220 bitümüne ait faz açısı değerleri incelendiğinde, özellikle 40 °C sıcaklığın üzerinde bağlayıcının elastik deformasyon özelliklerini tümüyle kaybettiği ve neredeyse tam viskoz davranışa geçtiği görülmektedir (Şekil 6.b). Bu sonuç, sıcak iklimlere sahip bölgelerde durağan trafik koşulları altında saf bitümün bağlayıcı olarak kullanılması durumunda kalıcı deformasyonların önemli ölçüde artacağını ortaya koymaktadır. Orta sıcaklık bölgesinde, B50/70 bitümünde meydana gelen deformasyonda elastik deformasyon oranının B160/220 bitümüne göre önemli ölçüde fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.b) (Airey, 2003). SAOS deneylerinde elde edilen sonuçlar, bağlayıcıların, yükleme hızının daha uzun olduğu durumlarda daha belirgin hale geldiğini hem kompleks kayma dayanımı değerleriyle hem de faz açısı parametresiyle ortaya koymaktadır.



Şekil 5. (a) B50/70bağlayıcılarına ait kompleks kayma modülü, ve (b) faz açısı değerleri



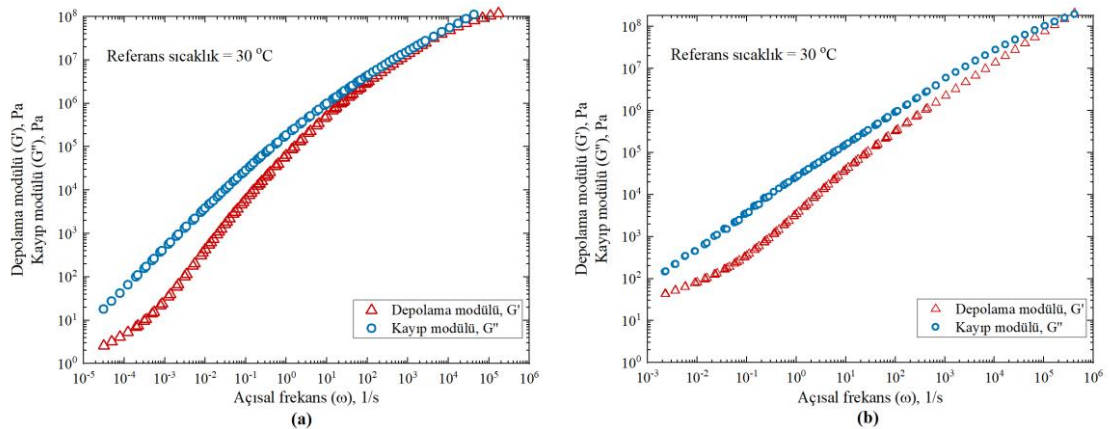
Şekil 6. (a) B160/220 bağlayıcılarına ait kompleks kayma modülü ve (b) faz açısı değerleri

3.4. Ana Eğrilere İlişkin Bulgular

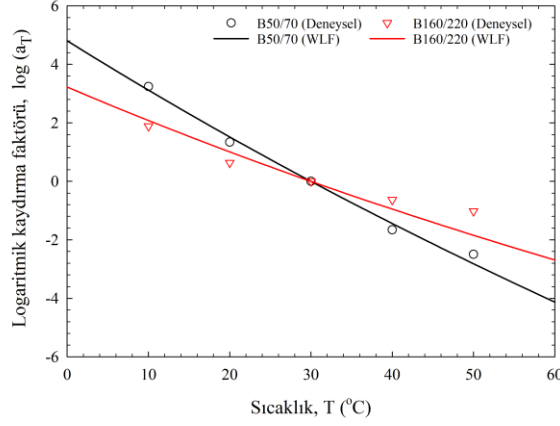
0,01-100 rad/sn frekans ve 10-50 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilen SAOS deneyine ait verilerin zaman-sıcaklık süperpozisyonu prensibi yardımıyla belirli bir referans sıcaklığına aktarılmasıyla B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarına ait ana eğriler (master curves) oluşturulmuş ve bu eğriler Şekil 7’de verilmiştir. Referans sıcaklık olarak 30 °C’de çizilen ana eğrilerde bağlayıcılara ait depolama ve kayıp modülleri bulunmaktadır. Her iki bağlayıcı türünün de viskoelastik deformasyon davranışının gözlemlenebilmesi için ideal olabileceği düşünülen 30 °C referans sıcaklık değeri çalışmada belirlenmiştir. Yükleme süresine bağlı olarak depolama ve kayıp modüllerindeki değişim incelendiğinde, yükleme süresinin uzamasıyla birlikte (yüksek frekans seviyelerden düşük frekans seviyelerine) bağlayıcıların depolama ve kayıp modülü değerlerinin hızla azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte B50/70 bağlayıcısının en düşük frekans seviyelerinde depolama stabilitesi değerlerinin sabit bir değer aldığı ve plato olarak isimlendirilen bölgenin B160/220 bağlayıcısına göre daha belirgin şekilde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, yarı katı yapıda bulunabilen asfaltten bileşenin B50/70 bağlayıcısı için daha yüksek oranlarda (diğer bitüm bileşenlerine göre) bulunduğunu ifade edebilmektedir (Behzadfar ve Hatzikiriakos, 2014). B160/220 bağlayıcısına ait kayıp modülü değerleri incelendiğinde frekans değişimine oranlı biçimde G'' değerlerinin değişim gösterdiği dolayısıyla eğrinin doğrusal özellikte olduğu (logaritmik ölçekte) görülmektedir. Öte yandan B50/70 bağlayıcısının kayıp modülü değerlerinin düşük frekans seviyelerinde frekans değerlerinin azalmasıyla birlikte daha yüksek oranda azalma eğilimine geçtiği görülmektedir. Bu sonuç, B50/70 bağlayıcısının deformasyon davranışının yükleme hızına bağlı olarak değişimini ifade etmektedir. 30°C’lik referans sıcaklık değerinde depolama modülü değerlerinin kayıp modülü değerleriyle çakıştığı kesişme frekansı “cross frequency” olgusunun her iki bağlayıcı türü içinde gözlemlenebildiği görülmektedir. Bilindiği üzere depolama modülü, viskoelastik malzemenin elastik deformasyon, kayıp modülü ise geri dönmeyen kalıcı deformasyon bileşenini temsil etmektedir. Dolayısıyla, bu iki modülün kesişme noktası, SBS katkılı bağlayıcının yarı katı (kavuçuk benzeri-rubberlike) davranıştan viskoz davranışa geçişini ortaya koymaktadır (Gunay ve ark., 2020). Buna

göre, B50/70 bağlayıcısı için kesişme frekansı değeri 10^3 frekans mertebesinde gözlemlenirken, B160/220 bitümü için bu değer yaklaşık 10^5 1/s frekans değeridir. 30 °C'lik referans sıcaklık değerinde B50/70 bitümünün daha düşük frekans seviyelerinde kesişme frekansına sahip olması bu bağlayıcı türünün daha uzun yüklenme sürelerinde dahi viskoelastik davranış göstermeye devam ettiğini ortaya koymaktadır.

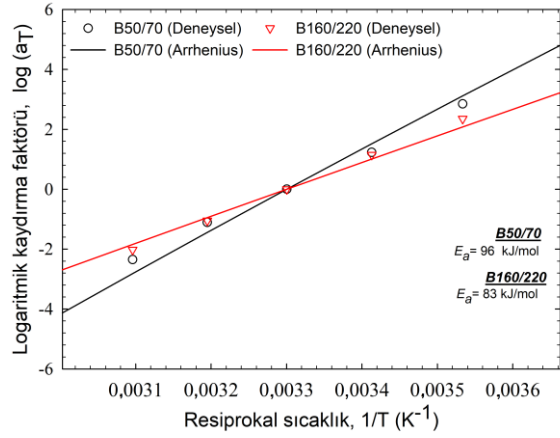
SAOS deney sonuçlarının TTS prensibiyle kaydırılması sonucu elde edilen ana eğrilere ait kayma faktörlerinin (shift factor), WLF ve Arrhenius denklemleri yardımıyla hesaplanan kayma faktörleri ile karşılaştırılmaları Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Buna göre, hem B50/70 hem de B160/220 bağlayıcıları için deneysel yöntemle tespit edilen kaydırma faktörleriyle denklemler yardımıyla hesaplanan kaydırma faktörlerinin genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, B160/220 bağlayıcısına ait WLF denklemiyle hesaplanan kaydırma faktörlerinin (Şekil 8) sıcaklık artışıyla birlikte (40-50 °C) deneysel kaydırma faktörlerinden uzaklaştığı görülmektedir. Bu sonuç, bu bağlayıcı türünün orta sıcaklık mertebelerinde tümüyle akışkan davranış göstermesi ve artan sıcaklık değerlerine karşı viskoelastik deformasyon modelinden ayrılması ile açıklanabilmektedir. Çalışmada ayrıca, Arrhenius denklemi ile bağlayıcıların aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Buna göre, Şekil 9'da belirtildiği üzere, B50/70 bitümünün aktivasyon enerjisi 96 kJ/mol, B160/220 bitümünün aktivasyon enerjisi ise 83 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu değerlerin literatürde diğer bağlayıcı türleri için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Yılmaz ve ark., 2022). Yüksek aktivasyon enerjisi malzemelerin reaksiyona girmek için gerekli olan minimum enerjiyi ifade etmektedir. B50/70 bitümünün B160/220 bağlayıcısına göre daha yüksek aktivasyon enerjisine sahip olması, bu bağlayıcı türünün daha fazla karmaşık molekül içermesi ile açıklanabilmektedir (Mezger, 2011). Arrhenius bağıntısıyla hesaplanan kaydırma faktörlerinin deneysel sonuçlara göre bulunan kaydırma faktörlerine WLF eşitliğine göre daha yakın olduğu Şekil 8-9'da görülmektedir.



Şekil 7. (a) B50/70 ve (b) B160/220 bağlayıcılarına ait ana eğriler



Şekil 8. B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarının WLF bağıntısına ait kaydırma faktörleri



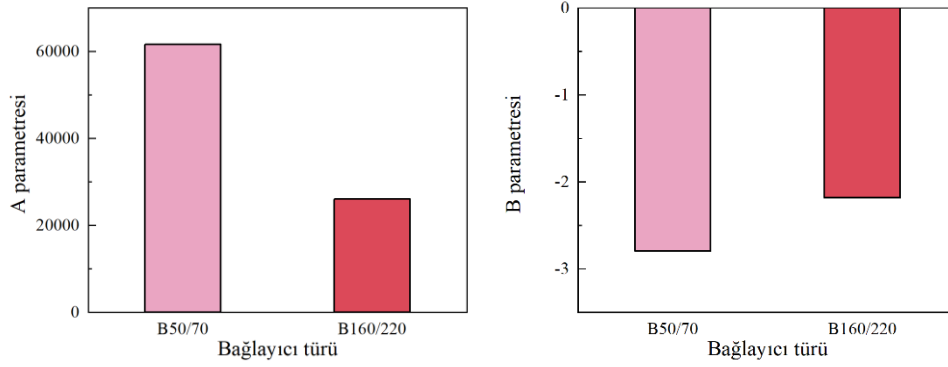
Şekil 9. B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarının Arrhenius bağıntısına ait kaydırma faktörleri

3.5. Lineer Genlik Tarama (LAS) Deneyi

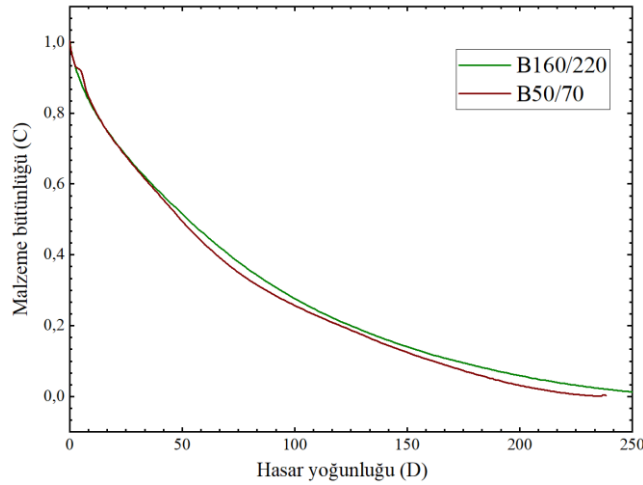
Çalışma kapsamında, farklı penetrasyon değerlerine sahip bağlayıcılar üzerinde gerçekleştirilen lineer genlik tarama (LAS) deneyleri neticesinde bağlayıcıların yorulma ömrüne ilişkin elde edilen reolojik parametreler Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre, Şekil 10.a ve 10.b incelendiğinde, B50/70 bağlayıcısının A parametresinin B160/220 bağlayıcısına göre daha yüksek bir değere sahip olduğu, öte yandan B parametresinin ise yine B160/220 bağlayıcısına göre mutlak değer olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Malzemenin bütünlüğü koruması (structural integrity) ile ilişkili olan A parametresinin yüksek olması ve bağlayıcının uygulanan deformasyon değişimine karşı duyarlılığını ifade eden B parametresinin mutlak değer olarak düşük olması daha uzun yorulma ömrü anlamına gelebilmektedir (Saboo ve ark., 2018; HassanpourKasanagh ve ark., 2020).

Farklı penetrasyon değerlerine sahip bağlayıcıların hasar yoğunluğuna (D) bağlı olarak malzeme bütünlüğü (C) değerinin değişimi grafik olarak Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre, B160/220 bağlayıcısının hasar yoğunluğu hattı boyunca daha yüksek malzeme bütünlüğü değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuç B160/220 bağlayıcısının daha iyi bir yorulma direncine sahip olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte viskoelastik sürekli hasar (VECD, Viscoelastic continuum damage) teorisine göre, bağlayıcıların yorulma ömrü $N_f = A \times \gamma^{-B}$ formülü yardımıyla tahmin

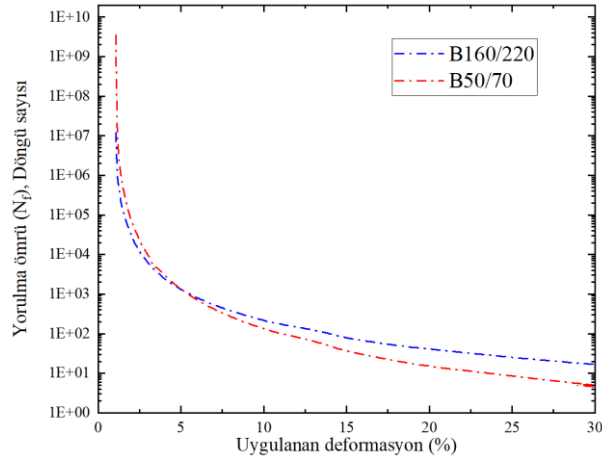
edilebilmektedir (Joohari ve Giustozzi, 2022). A ve B parametreleri ve %0-30 aralığında lineer şekilde uygulanan deformasyon seviyeleriyle hesaplanan bağlayıcılara ait N_f değerleri Şekil 12’de verilmiştir. Buna göre, B160/220 bağlayıcısının yorulma ömrünün yüksek deformasyon mertebelerinde B50/70 bağlayıcısına göre daha üstün olduğu belirlenmiştir. Ancak, LAS deneylerinde, VECD teorisine göre kritik olan ve esnek kaplamaların gerçek uygulamalarda maruz kalabileceği %2,5 ve %5,0 gibi nispeten düşük deformasyon seviyelerinde B50/70 bağlayıcısının (B160/220 bağlayıcısına göre) daha uzun bir yorulma ömrüne sahip olabileceği görülmektedir.



Şekil 10. LAS deneyine ait A ve B parametreleri



Şekil 11. Bağlayıcılara ait malzeme bütünlüğü - hasar yoğunluğu ilişkisi



Şekil 12. B50/70 ve B160/220 bağlayıcılarının yorulma ömrü

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, B50/70 ve B160/220 olmak üzere iki farklı penetrasyon değerine sahip bağlayıcı türü üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve reolojik deney programı kapsamında elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir;

Geleneksel deney yöntemleri neticesinde elde edilen penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinin bir arada kullanılmasıyla hesaplanan PI değerlerinin her iki bitüm türü içinde oldukça yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, bağlayıcı türlerinde sıcaklık hassasiyeti kavramının sertlik değerleriyle doğrudan ilişkili olmadığını ifade etmektedir. Bağlayıcılara ait dönel viskozite değerleri incelendiğinde, her iki bağlayıcı türünün de beklenildiği üzere Superpave Şartnamesinde ifade edilen limit viskozite değerlerinin altında kaldığı ve benzer şekilde bu bağlayıcı türleriyle elde edilecek bitümlü sıcak karışımların (BSK) ideal karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının da aşırı enerji tüketimine veya bitümde yapısal bozulmaya sebep olabilecek yüksek sıcaklık derecelerine ulaşmadığı belirlenmiştir. SAOS deneyleri neticesinde, B50/70 bitümünün özellikle durağan trafiği sembolize eden çok düşük frekans değerlerinde B160/220 bağlayıcısına göre üstün G^* değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, B160/220 bitümüne ait δ değerlerinin özellikle 40 °C sıcaklığın üzerinde, tüm frekans aralığında tam viskoz davranışı ifade eden 90° mertebesine çok yaklaştığı, diğer bir ifadeyle bu sıcaklık değerinin üzerinde tümüyle elastik deformasyon özelliklerini kaybettiği gözlemlenmiştir. 30 °C'lik referans sıcaklık değerinde çizilen ana eğrilerde, B50/70 bağlayıcısının çok düşük frekanslarda depolama stabilitesi değerlerinin belirli bir sabit değere erişme eğiliminde olduğu ve bu sıcaklık değerinde yarı katı malzeme benzeri deformasyon davranışı gösterebileceği belirlenmiştir. Lineer genlik tarama testi neticesinde B160/220 bağlayıcısının deformasyon değişimine karşı duyarlılığının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu iki bağlayıcı türünün yorulma ömürleri kıyaslandığında deformasyon miktarlarının sürekli olarak artmasıyla birlikte (%5-30) yumuşak yapıdaki B160/220 bağlayıcısının yorulma ömrünün daha uzun olduğu ancak, gerçek uygulamalarda meydana gelebilecek deformasyon seviyelerinde (%5 deformasyon altında) B50/70 bağlayıcısının daha sert yapıda olmasına karşılık daha uzun bir yorulma ömrünün olabileceği ortaya konmuştur.

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

- AASHTO TP 101. Standard method of test for estimating fatigue resistance of asphalt binders using the Linear Amplitude Sweep 2012; American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.
- Ahmedzade P. The investigation and comparison effects of SBS and SBS with new reactive terpolymer on the rheological properties of bitumen. *Construction and Building Materials* 2013; 38: 285-291.
- Airey GD. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel* 2003; 82(14): 1709-1719.
- ASTM D4402. Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer. *Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken, PA, 2006.
- ASTM D2872. Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test). *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM D6521 Standard practice for accelerated aging of asphalt binder using a pressurized aging vessel (PAV) 2019. *American Association of State Highway and Transportation Officials*, West Conshohocken, PA.
- Behzadfar E., Hatzikiriakos SG. Rheology of bitumen: Effects of temperature, pressure, CO₂ concentration and shear rate. *Fuel* 2014; 116: 578-587.
- Button JW., Epps JA., Little DN., Gallaway BM. Asphalt temperature susceptibility and its effect on pavements. *Transportation Research Record* 1982; 843.
- Chakravarty H., Sinha S., Kumar P., Das S. Role of graphene oxide nanosheet on mixing and compacting temperature of bitumen. In *Civil Infrastructures Confronting Severe Weathers and Climate Changes Conference* 2021; 110-117.
- Ghuzlan KA., Al-Khateeb GG., Qasem Y. Rheological properties of polyethylene-modified asphalt binder. *Athens Journal of Technology and Engineering* 2013; 10: 1-14.
- Gunay T., Tomkovic T., Hatzikiriakos, SG. Thermorheological properties of asphalt binders. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 2020; 98(8): 1803-1814.

- Hassanpour Kasanagh S., Ahmedzade P., Günay T. Polimer katkılı bitümlü sıcak karışımların İzmir hava durumu şartlarındaki marshall stabilite performansının incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 21(5): 1157-1166
- Joohari IB., Giustozzi F. Oscillatory shear rheometry of hybrid polymer-modified bitumen using multiple stress creep and recovery and linear amplitude sweep tests. Construction and Building Materials 2022; 315: 125791.
- Laukkanen OV., Winter HH. Strain accumulation in bituminous binders under repeated creep-recovery loading predicted from small-amplitude oscillatory shear (saos) experiments. Mechanics of Time-Dependent Materials 2018; 22(4): 499–518.
- Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. Advances in Colloid and Interface Science 2009; 145(1-2): 42-82.
- Lytton RL., Uzan J., Fernando, EG., Roque R., Hiltunen D., Stoffels, SM. Development and validation of performance prediction models and specifications for asphalt binders and paving mixes. Strategic Highway Research Program 1993; Washington, DC.
- McNally T. Polymer modified bitumen: Properties and characterisation. Elsevier Woodhead Publishing 2011; 424.
- Mezger T. Basics of rheology workshop 2011. Applied Rheology 2011; 21(5): 303–304.
- Rossi CO., Spadafora A., Teltayev B., Izmailova G., Amerbayev Y., Bortolotti V. Polymer modified bitumen: Rheological properties and structural characterization. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 2015; 480: 390-397.
- Saboo N., Kumar R., Kumar P., Gupta A. Ranking the rheological response of SBS and EVA modified bitumen using mscr and las tests. Journal of Materials in Civil Engineering 2018; 30(8): 04018165.
- Salehfarid R., Abdi A., Amini B. Effect of SBR/NC on the rheological properties of bitumen and fatigue resistance of hot mix asphalt. Journal of Materials in Civil Engineering 2017; 29(5): 04016282.
- TS EN 1426. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar – İğne batma derinliği tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015; 16.
- TS EN 1427. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - Yumuşama noktası tayini – Halka ve bilye yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015; 20.
- Williams ML., Landel RF., Ferry JD. The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and other glass-forming liquids. Journal of the American Chemical Society 1955; 77(14): 3701–3707.
- Yılmaz B., Özdemir AM., Gürbüz HE. Assessment of thermal properties of nanoclay-modified bitumen. Arabian Journal for Science and Engineering 2022; 1-13.
- Yusoff NIM., Shaw MT., Airey GD. Modelling the linear viscoelastic rheological properties of bituminous binders. Construction and Building Materials 2011; 25(5): 2171-2189.

Ticari Olarak Satışta Olan Glutensiz Makarnaların Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Tekstürel Kalitelerinin Belirlenmesi

Fatma HAYIT¹, Sultan ACUN², Hülya GÜL³

¹Bozok Üniversitesi, Boğazlıyan Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Yozgat.

²Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Amasya.

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta.

¹<http://orcid.org/0000-0003-0097-406X>

²<http://orcid.org/0000-0003-1954-6102>

³<http://orcid.org/0000-0002-6791-817X>

*Sorumlu yazar: fatma.hayit@bozok.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 04.07.2022

Kabul tarihi: 01.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Çölyak

Makarna

Gluten

Glutensiz beslenme

Makarna kalitesi

ÖZ

Bu çalışmada, piyasada farklı üretici firmalar tarafından satışa sunulan glutensiz makarnaların bazı fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşal özelliklerinin belirlenmesi ve bu kalite özellikleri bakımından glutenli makarna ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Glutensiz makarna örneklerinde nem %8,73–11,82, kül %0,30-0,76, toplam fenolik madde %5,50-10,17, antioksidan aktivitelerini gösteren % inhibisyon değerleri %1,45-3,14 aralığında tespit edilmiştir. Suya geçen madde miktarları kuru maddede %6,85 ile %24,04 arasında, su absorpsiyon değerleri %231,68 ile %282,63, hacim artışı %64,51 ile %77,49, ağırlık artışı %115,52-241,64, pişme süreleri 4,49 ile 10,15 dakika, şişme derecesi %2,07-3,45 arasında belirlenmiştir. Duyusal değerlendirmede tat 2,1-3,71, genel beğenilirlik 2,00-3,71, satın alma bilirlik 1,29-2,57 aralığında puanlar almıştır. Tekstürel özellikler incelendiğinde kuru makarna örneklerinde sertlik 182,23-403,74 g aralığında, kırılma değeri ise 25,61 - 31,80 mm aralığında olduğu belirlenmiştir. Pişmiş makarna örneklerinde sertlik 1891-3172 g; yapışkanlık ise 16,06—21,37 g.sec olarak tespit edilmiştir. Glutensiz makarna örneklerinde suya geçen madde miktarının glutenli makarna örneğine göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Glutensiz makarnaların duyuşal değerlendirilmesinde tüm duyuşal parametreler bakımından glutenli makarna örneğine göre daha düşük puanlar almışlardır. Çalışmada, ticari olarak satılan glutensiz makarnaların - tüketici beğenisi de dikkate alınarak- mineral madde, antioksidan ve fenolik maddelerce zengin glutensiz ürünlerle takviye edilmek suretiyle yeni formülasyonların geliştirilmesine ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Determination of Some Physical, Chemical and Textural Quality of Commercially Available Gluten-Free Pasta

Research Article

Article History:

Received: 04.07.2022

Accepted: 01.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Celiac disease

Pasta

Gluten

Gluten-free nutrition

Pasta quality

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine some physical, chemical, textural and sensory properties of gluten-free pasta offered for sale by different manufacturers in the market and to compare them control pasta with gluten in terms of these quality characteristics. In the examined gluten-free pasta samples, moisture was 8.73 – 11.82%, ash 0.30-0.76%, total phenolic substance 5.50-10.17%, and inhibition values showing antioxidant activities 1.45-3.14%. The amount of substance that passes into water is between 6.85% and 24.04% in dry matter, water absorption values are between 231.68% and 282.63%, volume increase is 64.51-77.49%, weight gain is 115.52-241.64%, cooking times are 4.49-10.15 minutes, swelling degree is 2.07%. It was determined between 2.07-3.45%. In sensory evaluation, taste was scored between 2.1-3.71, general acceptability 2.00-3.71, affordability

1.29-2.57. When the textural properties were examined, it was determined that the hardness was between 182.23-403.74 g and the brittleness value was between 25.61 -31.80 mm in the dry pasta samples. Hardness in cooked pasta samples was 1891-3172 g; the stickiness was determined as 16.06—21.37 g.sec. It was determined that the amount of substance transferred to the water in the gluten-free pasta samples was higher than the control sample. In the sensory evaluation of gluten-free pasta, it was determined that all sensory parameters were lower than the control group. In the study, it was concluded that commercially sold gluten-free pastas need to be supplemented with gluten-free products rich in mineral substances, antioxidants and phenolic substances, and new formulations need to be developed, taking into account consumer acceptability.

To Cite: Hayıt F., Acun S, Gül H. Ticari Olarak Satışta Olan Glutensiz Makarnaların Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Tekstürel Kalitelerinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 700-719.

1. Giriş

Makarna; lezzeti, düşük maliyeti ve besin değeri nedeniyle tüketilen en basit ve en eski gıda ürünlerinden biridir (Marti ve Padalino, 2013; Simonato ve ark., 2015). Kolay hazırlanması ve saklanması, uzun raf ömrü ve arzu edilen duyuşsal özellikleri nedeniyle dünya çapında en çok tüketilen ikinci gıda olan buğday bazlı bir temel gıdadır (El-Sohaimy ve ark., 2020; Teterycz ve ark., 2020). Tüm yaş gruplarının ve sosyal sınıfların tüketiminde de yer almaktadır (Simonato ve ark., 2015).

Çin’de M.Ö. 1700 yıllarında tüketildiği düşünölen makarnanın Marco Polo tarafından 1292 yılında, makarnanın anavatanı sayılan İtalya’ya getirildiği iddia edilmektedir. İtalya’dan da kısa zaman içinde Avrupa ölkelerine yayılmıştır (Değirmenci, 2017). Kaşgarlı Mahmud tarafından 11. yüzyılda yazılan *Divan-ü Lügat-it-Türk*’te geçen “tutmaç”ın ise erişteli bir yemek olduğu düşünöldüğünde makarna tarihinin net olmadığı görölmektedir (Int Kyn., 2022). Türkiye’de ise Cumhuriyet dönemiyle birlikte 1922 yılında makarna üretimi başlamıştır. İlk makarna tesisi İzmir’de kurulmuş, 1960 yılından sonra da makarna fabrikalarının sayısı ve üretim kapasiteleri artarak, makarna üretimi günümüze kadar devam etmiştir (Elgün ve ark., 2015).

Makarna Türk Gıda Kodeksi makarna tebliğinde; *Triticum durum* buğdayından üretilen irmiğe su katılıp tekniğine uygun yoğrulularak hazırlanan hamurun şekillendirilip kurutulmasıyla elde edilen bir ürün olup; sade, tam buğday, çeşnili, zenginleştirilmiş, güçlendirilmiş makarna ile vitamin ve mineral ilaveli makarna olarak tanımlanmıştır (Tebliğ No: 2005/29).

Durum buğdayı irmiği, kaliteli makarna üretimi için tercih edilen ve en sık kullanılan hammaddedir (Fuad ve Prabhasankar, 2010; Simonato ve ark., 2015). İrmikte bulunan proteinlerin -özellikle gluten proteinlerinin- miktar ve kalitesi makarna kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesidir. Gluten, çoğunlukla buğdayda, ayrıca arpa, çavdar ve yulafta da bulunan prolamin proteinlerinin bir karışımıdır (Balakireva ve Zamyatnin, 2016). Ancak çölyak hastalığı olan kişiler genellikle gluten içeren ürönlere karşı olumsuz reaksiyon verirler. Nedeni ise bağışıklık sitemlerinin glutene karşı antikorlar üretmesi ve bu antikorların bağırsak duvarında bulunan besin emilimini sağılayan villuslara zarar vermesidir. Gluten intoleransı olan bireylerin, gluten içeren gıdaları tüketmeleri durumunda vöcutlarında gıda emilimi gerçekleşmez (Larrosa ve ark., 2013). Hastaların şu an için tek tedavi

yöntemi gluten içeren gıdaları diyetlerinden çıkarmaktır (Arcangelis ve ark., 2020). Gluten intoleransı terimi, otoimmün çölyak hastalığı haricinde buğday alerjisi ve çölyak dışı gluten duyarlılığı için de kullanılır. Bu üç tip rahatsızlığı olanların yanı sıra, son yıllarda glutensiz ürünler ile beslenmeyi hedefleyen genel tüketicilerin sayısında da artış görülmektedir (Silva ve ark., 2019). Bu durum glutensiz gıda çeşitliliğini ve glutensiz ürünlerin kalitesinin artırılmasını gerekli kılmaktadır.

Ne yazık ki diğer glutensiz gıdalarda olduğu gibi glutensiz makarnalarda da gluten bulunmaması beraberinde bazı üretim zorluklarını ve kalite kusurlarını da getirmektedir. Bu ürünlerde karşılaşılan diğer sorunlar ise standart gıdalara kıyasla genel olarak besin öğeleri bakımından yetersiz kalmaları ve fiyatlarının yüksek olmasıdır. Glutensiz unlar ile hazırlanan makarnaların durum buğday irmiğinden üretilen standart makarnalara kıyasla dokusal kaliteleri oldukça düşüktür ve tamamen farklı reolojik davranış sergilerler. Bununla birlikte pişirmeye karşı toleransları da düşük olup yüksek pişme kaybı gösterirler (Lucisano ve ark., 2012).

Glutensiz makarnaların teknolojik ve besinsel kalitesini arttırabilmek için çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Larrosa ve ark., 2016; Gao ve ark., 2018). Bu amaçla; çeşitli proteinler, meyve ve sebze unları, karabuğday, amaranth, kinoa vb gibi yalancı tahıllar, baklagil unları, deniz ürünleri, hidrokolloidler, emülgatörler vb formülasyona ilave edilmektedir (Rachman ve ark., 2020; Aínsa ve ark., 2021; Culetu ve ark., 2021; Ertaş ve ark., 2022; Suo ve ark., 2022; Thakur ve ark., 2022; Udachan ve ark., 2022). Bunların yanı sıra onların ısıl işleme muamelesi, kızılötesi-mikrodalga kombinasyonlu pişirme ve ekstrüzyonla pişirme gibi optimum işleme teknikleri ile transgenез, enzimoliz ve fermentasyon gibi bazı yeni teknolojiler de glutensiz makarna kalitesini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Padalino ve ark., 2016).

Çölyak, buğday alerjisi, çölyak dışı gluten hassasiyeti olan veya kendi istekleri ile glutensiz beslenmeyi tercih eden bireyler için üretilen glutensiz makarnaların hem teknolojik hem duyuşal hem de besinsel kalite kriterleri bakımından standart makarnalar ile aynı ya da en azından yakın değerlerde olması tüketiciler tarafından beklenen bir durumdur. Böylesine önemli bir konudan hareketle bu çalışmada; piyasada satışa sunulan glutensiz makarnaların bu beklentileri ne düzeyde karşıladığı, glutensiz makarnalar ile standart makarnalar arasında bazı kalite kriterleri bakımından fark olup olmadığının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında piyasada hali hazırda satışta olan altı adet glutensiz makarna örneğinin bazı kalite parametreleri incelenmiştir. Yine piyasada satılan buğday irmiğinden yapılan standart makarna örneği ile glutensiz makarna üretimlerinde kullanılan bileşenler, bazı kalite parametreleri, glutensiz makarnaların bazı fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duyuşal kalite özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, piyasada satılan altı farklı firmaya ait toplam altı adet glutensiz spagetti tipi makarna örneği materyal olarak kullanılmıştır. Glutensiz makarna örneklerinden üç tanesi Isparta'da bulunan

marketten diğ er üç tanesi ise internet satış sitelerinden satın alınmıştır. Yine piyasada satılan buğday irmiğ inden üretilmiş standart makarna örneğ i (spagetti tipi) kontrol örneğ i olarak kullanılmış tır.

2.2. Metot

Glutensiz ve glutenli makarna örneğ lerinde aşağ ıda ayrı başlıklar altında verilen analizler yapılmış tır. Tüm analizler 3 paralel ve 3 tekerrür olarak çalışılmış tır.

2.2.1. Optimum pişme süresi

Makarnaların optimum pişme süresi AACC 66.50.01'e göre üç tekerrürlü olarak belirlenmiş tir. Bu amaçla her 30 sn'de bir makarna örneğ i alınarak iki cam arasında sıkıştırılmış ve pişmemiş nişastanın göstergesi olan beyaz çizgi kaybolduğ unda süre kaydedilmiştir.

2.2.2. Su absorbsiyonu

25 g makarna örneğ i 250 ml su içerisinde optimum pişme süresine kadar pişirildikten sonra 3 dakika süzölmüş ve ağırlıkları belirlenmiştir. Pişmemiş ve pişmiş ağırlıkları oranlanarak % su absorbsiyon değerleri hesaplanmıştır (Elgün ve Erturgay, 2002).

2.2.3. Hacim artışı

Su absorbsiyonunda yapılan işlemlere benzer şekilde 25 g makarnanın pişmeden önce hacmi ölçölmüş ve optimum pişme süresi sonunda makarna hacimleri tekrar belirlenmiştir. Hacim artışı % olarak hesaplanmıştır (Elgün ve Erturgay, 2002).

2.2.4. Suyu geçen madde miktarı (pişme kaybı)

25 g makarna 250 ml kaynayan suya ilave edilmiş ve optimum pişme süresi pişmesi sağlanmış tır. Süre sonunda beher içeriğ i buhner hunisinden damlama kesilinceye kadar süzölmüş tır. Üzerine 90 ml su ilave edilerek yıkanan makarnalar tekrar süzölmüş ve pişirme suyu ile yıkama suyu birleştirilmiştir. Saf su ile toplam hacim 350 ml'ye tamamlandıktan sonra daha önceden sabit tartıma getirilerek darası alınmış behere 50 ml pişme suyu eklenmiştir. Su banyosunda suyu uçurulduktan sonra $100 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvde sabit ağırlığ a kadar kurutularak tartılmış tır (AACC 66.50.01, AACC 2000).

2.2.5. Renk

Makarnaların rengi Minolta CR-410 (Osaka, Japonya) renk cihazı yardımıyla aydınlık (L), kırmızılık (a) ve sarılık (b) değeri olarak belirlenmiştir (Larrosa ve ark., 2016).

2.2.6. Kimyasal özellikler

Makarna örneğ lerinde nem (AACC 44-01.01,2000) ve kül (AACC 08-01.01,2000) analizleri yapılmış tır. Fenolik maddelerin ekstraksiyonu ve analizi, makarnaların toplam fenolik madde ve

antioksidan aktivite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla toplam fenolik maddeler (TFM) Rocchetti vd. (2017)'nin kullandığı ekstraksiyon metodunun modifiye edilmesiyle elde edilmiştir. Bir gram makarna örneği alınmış ve 10 ml metanol ilave edilerek Ultraturax (Catx120, Almanya) ile 3 dakika 25000 rpm'de homojenize edilmiş daha sonra ultrasonik su banyosunda (Say Ultrasonik, İstanbul, Türkiye) 30 dakika 60 C'de ekstrakte edilmiştir. Ekstrakt 6000 rpm'de 15 dakika santfirüjlendikten (Hermle Z206A, Wehingen, Almanya) sonra filtre kâğıdından süzölmüş ve süzöntü toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite tayininde kullanılmıştır.

Makarnaların toplam fenolik madde miktarı Singleton ve Rossi (1965)'ye ve antioksidan aktivite (AA) (DPPH) değeri ise Aksoylu (2012)'ya göre belirlenmiştir.

2.2.7. *Tekstürel özellikler*

Kuru makarnada kırılmalık

Kuru makarnaların kırılmalık özellikleri Ungureanu-Iuga vd. (2020) tarafından kullanılan analiz metodunun modifiye edilmesiyle belirlenmiştir. 8 cm uzunluğunda kesilen makarnaların, kırılmalığı ve sertliğı 3 nokta bükme tertibatlı alüminyum prob kullanılarak belirlenmiştir. Prob üzerine yerleştirilen makarnalar ön test hızı 1 mm/s, test hızı 3 mm/s, son test hızı 10 mm/s ve 50 g yük hücresi ile kesilmiş ve makarnaları kırmak için gerekli olan maksimum kuvvet kırılmalık değeri olarak kaydedilmiştir.

2.2.8. *TPA (Teskür profil analizi)*

Bu amaçla Padalino vd. (2013) ve Larrosa vd. (2016) tarafından kullanılan metotlar modifiye edilmiş ve makarnaların dokusal özelliklerini belirlenmiştir. Optimum pişirme süresince pişirilmiş makarnalardan 5 adet makarna taban üzerinde yan yana dizilmiş ve 2 cm çapındaki düz silindirik prob ile iki kez sıkıştırılarak sıkıştırma-gevşeme-gerilim profil eğrisi elde edilmiştir. Sıkıştırma mesafesi olarak da makarnanın orijinal boyutunun %50'si alınmıştır. Zaman kuvvet eğrisinden sertlik, kohezyon, adezyon (ilk sıkıştırma döngüsünün negatif kuvveti), esneklik, çığnene bilirlilik ve elastikiyet değerleri belirlenmiştir (Szczeniak, 2002). Test parametreleri ön test hızı 1 mm/2, test hızı 5 mm/s, son test hızı 5 mm/s; yük hücresi 5 g.

2.2.9. *Duyusal Analiz*

Makarnalar OPS boyunca pişirilerek duyusal analize tabi tutulmuşlardır. Duyusal analiz için rasgele seçilen üç basamaklı kodlama kullanılmıştır. Makarna örnekleri panelistlere her biri ayrı ayrı ve sıcak olarak sunulmuş ve örnekler arasında ağız tadının nötrlenmesi için su ikram edilmiştir. Makarnaların renk, koku, tekstür, tat, genel beğeni ve satın alına bilirlilik özellikleri 7 puanlık (1: Aşırı kötü, 7: Mükemmel) bir skalayla değerlendirildi. 10 panelistin verdiği puanların ortalaması alınarak makarnaların duyusal özellikleri belirlenmiştir (Özgören, 2019).

2.2.10. İstatistiksel analiz

Analizlerde elde edilen bulgular SPSS (Versiyon 26.0) istatistik programı ile Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda aralarındaki farklılıklar 0,05 güven sınırına göre önemli bulunan değerler, ilgili tablolarda aynı harfle işaretlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Glutensiz makarna örneklerinin içerikleri

Piyasada satışa sunulan farklı markalara ait altı adet glutensiz spagetti tipi makarna örneği ile bir adet durum buğdayı irmiğinden üretilen standart spagetti tipi makarna örneğinin ambalajları incelenmiş ve üretimlerinde kullanılan ham maddeler ve kullanım miktarları (%) Tablo 1’de verilmiştir. Glutensiz makarna formülasyonlarında ilk sırada mısır unu ikinci olarak ise pirinç ununun yer aldığı görülmektedir. Benzer şekilde İtalya’da ticari glutensiz makarnalar üzerine yapılan bir araştırmada da tüm ürünlerin öncelikle mısır ve pirinç unları ve/veya nişastaları içerdiği rapor edilmiştir (Morreale ve ark., 2019). İncelenen altı adet glutensiz makarnalardan bir tanesinin (GM3) %100 mısır unu, bir tanesinin ise (GM5) %100 pirinç unu kullanılarak üretildiği görülmüştür. Pirinç unu yerine esmer pirinç unu da GM2 örneğinde kullanılırken, GM6 no’lu örnekte %70 mısır unu ve %18 pirinç unu ile birlikte %3 kinoa ve %8 mısır nişastası karışımlarının bileşimde yer aldığı saptanmıştır. Önceleri tamamen tıbbi gereklilikler nedeniyle tüketilen glutensiz gıdalar son yıllarda tıbbi açıdan bir ihtiyacı olmayan kişiler tarafından da yaygın bir şekilde tercih edilmeye başlamıştır. Fakat glutensiz ürünler üzerine yapılan araştırmalar, gluten içeren eşdeğerlerine kıyasla daha düşük bir beslenme profiline sahip olduklarını ve genellikle vitaminler, mikro besin elementleri ve lif gibi besin öğelerince yoksun olduklarını ortaya çıkarmıştır (Johnston ve ark., 2017). Bu eksiklik glutensiz diyet yapan bireylerde beslenme yetersizlikleri veya metabolik hastalıkların gelişmesine yol açabilir. Ayrıca, hızlı sindirilebilir nişasta içeriğinin yüksek olması nedeniyle, bu ürünler genellikle gluten içeren muadillerinden daha yüksek glisemik indeks değerlerine sahiptir (Suo ve ark., 2022).

Tablo 1. Makarna örneklerinin bileşimleri (%)

| Örnek | Buğday Unu | Mısır Unu | Pirinç Unu | Esmer Pirinç Unu | Kinoa | Mısır Nişastası |
|---------|------------|-----------|------------|------------------|-------|-----------------|
| Kontrol | 100 | | | | | |
| GM1 | | 80 | 20 | | | |
| GM2 | | 90 | | 10 | | |
| GM3 | | 100 | | | | |
| GM4 | | 50 | 50 | | | |
| GM5 | | | 100 | | | |
| GM6 | | 70 | 18 | | 3 | 9 |

*GM: Glutensiz makarna örneği

İncelenen glutensiz makarna örneklerinin de temel bileşenler olan pirinç unu ve/veya bunların nişastaları haricinde besin öğeleri açısından farklı bir bileşen içermemeleri dikkat çekicidir. Tüm

dünyada glutensiz diğer ürünlerde olduğu gibi glutensiz makarnaların da besin öğeleri açısından zenginleştirilmesi yönünde yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu araştırma Türkiye’de satışa sunulan spagetti/uzun makarna çeşitlerinin de besin öğeleri yönünden zenginleştirilmesinin önemli bir gereklilik olduğunu göstermiştir.

3.2. Glutensiz makarna örneklerinin kimyasal özellikleri

Glutensiz makarna örneklerinin nem ve kül değerleri sırasıyla %9,34-12,02 ve %0,30-0,76 aralığında belirlenmiştir (Tablo 2). Türk gıda kodeksi makarna tebliği’ ne (Anonim 2020) göre makarnaların nem değeri en fazla %13, kül miktarı da en fazla %1 olmalıdır. Glutensiz makarna örnekleri, makarna tebliğine bu açıdan uygun bulunmuştur. 7. örneğin kül miktarının diğer örneklerden yüksek olduğu görülmektedir. Sebebinin formülasyonunda kinoa içermesi olduğu düşünülmüştür. Bu durumu destekleyici olarak yapılan çalışmalarda, buğday ununa ve glutensiz un karışımlarına kinoa unu ilavesinin, örneklerde ki kül miktarını arttırdığı görülmektedir (Alencar ve ark., 2015; Iglesias-Puig ve ark., 2015). Yapılan farklı bir çalışmada, glutensiz ticari bir makarna örneğinin kül miktarı %0,44 iken; mısır nişastası ve mısır unu kullanılarak üretilen glutensiz makarna örneğinin kül miktarının %1 olduğu, bu formülasyona kül içeriği yüksek kabak unu ve durian tohum unu ilavesinin kül miktarını ise önemli olarak arttırdığı görülmektedir (Mirhosseini ve ark., 2015). Benzer başka bir çalışmada da pirinç unu ile soya ununun yer değiştirmesi ile elde edilen glutensiz makarnalarda kül içeriğinin soya unu artışına bağlı olarak arttığı belirtilmiştir (%0,59 dan – 2,17'ye kadar) (Bolarinwa ve Oyesiji, 2021). Kül içeriği mineral madde varlığı ile de ilişkili olduğu için, kül miktarındaki farklılık makarnaların üretimlerinde kullanılan hammaddelerin farkından ve farklı oranlarda kullanılmasından da kaynaklanmaktadır.

Makarna örneklerinin farklı nem değerine sahip olması kurutma süresi ve sıcaklığı, depolama koşulları gibi üretim şartlarından kaynaklanabilmektedir (Köten ve ark., 2014). Ambalaj özelliklerinin de yine nem miktarında etkili olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 2. Makarna örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

| Örnek | Kül (%) | Nem (%) | TFM (µg örnek) | GAE/g | Antioksidan aktivite (% inhibisyon) |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|
| Kontrol | 0,44 ±0,05 ^c | 11,82 ±0,08 ^a | 10,17 ±0,87 ^a | | 3,14 ±0,81 ^a |
| GM1 | 0,63 ±0,02 ^b | 9,85 ±0,32 ^c | 8,17 ±0,94 ^{ab} | | 1,45 ±0,43 ^{bc} |
| GM2 | 0,46 ±0,01 ^c | 11,38 ±0,16 ^b | 8,67 ±0,52 ^{ab} | | 2,86 ±0,35 ^{ab} |
| GM3 | 0,60 ±0,10 ^b | 8,91 ±0,18 ^e | 9,83 ±0,49 ^b | | 2,23 ±0,27 ^{ab} |
| GM4 | 0,76 ±0,24 ^a | 9,34 ±0,26 ^d | 5,50 ±0,64 ^c | | 1,78 ±0,51 ^{abc} |
| GM5 | 0,30 ±0,01 ^d | 12,02 ±0,14 ^a | 0,00 ±0,00 ^d | | 0,56 ±0,06 ^c |
| GM6 | 0,78 ±0,15 ^a | 8,73 ±0,05 ^e | 11,50 ±0,26 ^a | | 2,39 ±0,12 ^{ab} |

* a-e; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir (P<0,05).

Tablo 2 incelendiğinde glutensiz makarnaların toplam fenolik madde içerikleri 0-11,50 µg GAE/g örnek aralığında, antioksidan aktivitelerini gösteren % inhibisyon değerleri ise %0,56- %2,86 aralığında olduğu görülmektedir. Çölyak hastalarına özel olarak üretilecek ürünlerde fenolik madde ve antioksidan içeriğinin yüksek olması hasta beslenmesi açısından önem arz etmektedir. Makarna örneklerinde bu değerlerin farklı aralıkta olması, glutensiz makarna üretimde kullanılan hammaddelerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Glutensiz makarna örneklerinin fenolik madde ve antioksidan içerikleri kontrol gruba göre kıyaslandığında düşük olduğu görülmektedir (Tablo 2). 2, 3 ve 5. örnekler mısır unu ve pirinç ununu farklı oranlarda içermektedir. Fakat mısır unu miktarının azalması, pirinç unu miktarının artması örneklerdeki fenolik madde miktarının azalmasına sebep olmuştur. 7. Örneğin fenolik madde ve antioksidan içeriğinin diğerlerinden yüksek olması, bileşiminde kinoa ununun olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer olarak yapılan çalışmada, makarna formülasyonuna kinoa ilavesinin, fenolik madde ve antioksidan içeriğini arttırdığı belirtilmiştir (Lorusso ve ark., 2017). Glutensiz makarna formülasyonu geliştirmek için yapılan bir çalışmada nişasta kaynağının %50'si olarak sorgum kullanıldığında toplam fenolik madde içeriğinin (69,9 mg/100 g ve 42,8 mg/100g) önemli miktarda yükseldiği görülmektedir (Orlandin ve ark., 2019). Çalışmada incelenen ticari olarak satılan glutensiz makarnaların, fenolik ve antioksidan içeriği bakımından yetersiz olduğu görülmektedir.

3.3. Glutensiz makarna örneklerinin pişme özellikleri

Makarna kalitesinin belirlenmesinde pişirme özelliklerinin değerlendirilmesi önemlidir (Köten ve ark., 2014). Makarna örneklerinde tespit edilen bu özelliklere ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Glutensiz makarna örneklerinin pişme sürelerinin 4,49 ile 12,87 dakika gibi geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği saptanmıştır. %100 pirinç unu ile üretilen 6 numaralı örnek en kısa pişme süresine sahip olurken, mısır unu, pirinç unu, kinoa ve mısır nişastası içeren 7 numaralı örnek en uzun pişme süresi göstermiştir. 7 numaralı örnek haricinde diğer glutensiz makarna örnekleri glutenli olan muadillerine göre daha kısa sürede pişmişlerdir. %100 pirinç unu ile yapılan glutensiz makarnanın pişme süresinin kısa olmasının nedeni bu örneğin su absorpsiyonunun diğer örneklerle göre daha yüksek olmasından kaynaklanmış olabilir. Bu makarna örneği yapısal olarak suyun daha iyi penetrasyonuna izin verdiği için makarna matrisinin daha hızlı yumuşamasını sağlayarak pişme süresinin çok kısa olması sonucuna yol açmış olabilir.

Glutensiz makarna örneklerinin su absorpsiyon değerleri %115,52 ile %241,64 arasında bulunmuştur. Su absorpsiyonlarındaki fark, kullanılan hammadde farkından kaynaklanmaktadır. 6. örnek dışında tüm glutensiz makarnalar farklı oranlarda mısır unu içermektedir. Bu durum mısır ununun su absorpsiyonunu olumsuz etkilediğini düşündürmüştür. Benzer olarak; Özkaya ve Özkaya (1992) tarafından yapılan çalışmada mısır ununun hamurun reolojik özelliklerini olumsuz etkilediği, karışımdaki mısır unu miktarının artmasına bağlı olarak su absorpsiyonunun azaldığı belirtilmiştir. Mısır unu içermeyen tek formülasyon olan 6. yani %100 pirinç unu içeren glutensiz makarna

örneğin su absorpsiyonu en yüksek değeri aldığı tespit edilmiştir. Bu örneğin hacim artışının da diğerlerine ve hatta glutenli kontrol örneğine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Pirinç unu düşük lipid içeriğine sahiptir, bu da yüksek su emme kapasitesine izin verir (Albuja-Vaca ve ark., 2019).

Tablo 3. Glutensiz makarna örneklerinin pişme özellikleri

| Örnek | Pişme süresi(dakika) | Su absorpsiyonu(%) | Hacim artışı(%) | Suya geçen madde miktarı(%) |
|---------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Kontrol | 10,15 ±0,02 ^b | 146,49±11,65 ^c | 66,62±1,02 ^{cd} | 6,85±0,02 ^e |
| GM1 | 9,30 ±0,21 ^c | 131,84±18,21 ^d | 67,26 ±1,12 ^c | 17,71 ±0,47 ^b |
| GM2 | 8,44 ±0,14 ^d | 115,52±20,13 ^e | 64,51 ±0,94 ^e | 23,75 ±0,21 ^a |
| GM3 | 9,21 ±0,30 ^c | 153,93±23,84 ^c | 73,30±1,31 ^b | 10,77 ±0,35 ^c |
| GM4 | 8,04±0,10 ^d | 122,23±20,18 ^{de} | 65,38 ±1,00 ^{de} | 24,04 ±0,15 ^a |
| GM5 | 4,49 ±0,03 ^e | 241,64±19,45 ^a | 77,49±1,69 ^a | 11,56 ±0,16 ^c |
| GM6 | 12,87 ±0,16 ^a | 224,52 ±21,16 ^b | 78,75 ±1,83 ^a | 8,69±0,28 ^d |

Glutensiz makarna örnekleri arasında en yüksek hacim artışı %3 kinoa unu içeren 7 numaralı örnek (%78,75) ile %100 pirinç unu içeren 6 numaralı örnekte (%77,49) ölçülmüştür. %90 mısır unu+%10 esmer pirinç unu ile üretilen 3 numaralı örneğin su absorpsiyonu en düşük (%115,52) ve bu değer ile paralel olarak da hacim artışı daha düşük olarak saptanmıştır. Glutenli örnek ile glutensiz örnekler karşılaştırıldığı zaman 6, 7 ve 4 numaralı örneklerin daha yüksek 2 ve 5 numaralı örneklerin ise benzer hacim artışı değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Su absorpsiyonu ile hacim artışı arasında beklenildiği üzere doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Glutensiz makarna örneklerinin suya geçen madde miktarı %24,04 ile %6,85 arasında bulunmuştur. En Suya geçen madde miktarı glutenli kontrol örneğinde en düşük değeri gösterirken onu %8,69 ile 7 numaralı örnek yani formülasyonunda %3 kinoa içeren glutensiz makarna örneği olduğu dikkat çekmiştir. Kinoa unu ilavesi ile makarnanın lif içeriğinde artış olduğu ve yapıdaki bu liflerin adeta bir ağ görevi görerek madde kaybını engellediği düşünülmüştür. Nitekim kinoa ununun lif içeriğinin yüksek olduğu bilinmektedir (Hayıt ve Gül 2019). Su absorpsiyonu düşük olan 3 ve 5 numaralı glutensiz makarna örneklerinin suya geçen madde miktarları da en yüksek değerleri göstermiştir. Glutenli muadillerine göre bu glutensiz makarnaların suya geçen madde miktarlarının yaklaşık 3-4 kat fazla olduğu saptanmıştır. Suya geçen madde miktarı yani katı madde kaybı, pişmiş makarnanın kalitesini ölçmek için önemli bir faktördür. Durum buğday irmiği ile yapılan makarnaların kaliteli bir makarna elde etmek için katı madde kaybının 12 g/100 g'dan daha az olması önemlidir (Delcour ve Hosoney, 2010). Türk gıda kodeksi makarna tebliği'ne (Int Kyn. 2021) göre makarnaların suya geçen madde miktarı en çok %10 olmalıdır. Makarna örneklerinin suya geçen madde miktarlarına bakılınca glutensiz makarna örneklerinin suya geçen madde miktarlarında 7. örnek dışında %10 dan fazla olduğu görülmektedir.

Izydorczyk ve ark. (2005), formülasyona gluten içermeyen un ilavesinin, yapıda protein-niştasta interaksyonunu ya da protein matriksini bozduğunu ve bu sebeple pişme kaybının arttığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; makarna formülasyonlarında buğday unu ile gluten

içermeyen farklı bir un ya da un karışımının yer değiştirmesi, gluten miktarını azaltarak suya geçen madde miktarının artmasına yol açmıştır (Torres ve ark., 2007; Chillo ve ark., 2008; Rajeswari ve ark., 2013; Rosa-Sibakov ve ark., 2016). Bu bilgilerden yola çıkarak bu çalışmada, glutensiz makarnaların suya geçen madde miktarlarının kontrol gruba göre çok olması makarna formülasyonunun da gluten içeriğinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu görüş yanında mısır nişastası ve mısır unu karışımlarına peynir altı suyu tozu ve üzüm kabuğu tozu ilave edilerek üretilen glutensiz makarnaların kalite özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, suya geçen madde miktarının peynir altı suyu tozu ve üzüm kabuğu tozu ilavesi ile arttığı; bu durumun, glutensiz ürünlerde gluten ağının olmaması nedeniyle jelatinize nişastanın sızmasına neden olabilecek yüksek lif içeriğinden kaynaklandığını belirtilmiştir (Ungureanu- Iuga ve ark., 2020). Bu durumu destekleyen başka bir çalışmada protein içeriği yüksek glutensiz unların (bezelye, nohut ve mercimek unu) glutensiz makarna formülasyonuna ilavesi durumunda suya geçen madde miktarı %10 aşmadığı fakat kontrol gruba göre arttığı bildirilmiştir (Bouasla ve ark., 2017). Bu sebeplerle glutensiz makarna üretiminde formülasyon geliştirme çalışmalarında bu durum göz önünde bulundurularak, jelatinize nişastanın sızmasına engel olunacak ek çalışmaların da yapılmasının gerektiği düşünülmektedir.

3.4. Glutensiz makarna örneklerinin renk özellikleri

Glutenli ve glutensiz makarna örneklerinin renk değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Makarna örneklerinin renk özellikleri

| Örnek | <i>L</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | ΔE |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Kontrol | 54,71 \pm 0,69 ^d | 9,23 \pm 0,41 ^b | 16,45 \pm 0,22 ^b | 16,45 \pm 0,18 ^a |
| GM1 | 58,27 \pm 0,49 ^b | 5,90 \pm 0,10 ^d | 15,40 \pm 0,51 ^b | 15,40 \pm 0,65 ^b |
| GM2 | 48,71 \pm 0,53 ^g | 10,69 \pm 0,35 ^a | 14,05 \pm 0,38 ^c | 14,05 \pm 0,28 ^c |
| GM3 | 52,35 \pm 0,38 ^e | 7,34 \pm 0,02 ^c | 12,46 \pm 0,24 ^d | 12,46 \pm 0,21 ^d |
| GM4 | 50,08 \pm 0,26 ^f | 9,36 \pm 0,18 ^b | 25,03 \pm 0,15 ^a | 10,40 \pm 0,10 ^e |
| GM5 | 62,38 \pm 0,85 ^a | -0,04 \pm 0,33 ^e | 14,69 \pm 0,29 ^e | 14,69 \pm 0,66 ^e |
| GM6 | 52,25 \pm 0,54 ^c | 6,92 \pm 0,21 ^c | 10,08 \pm 0,12 ^c | 11,08 \pm 0,84 ^c |

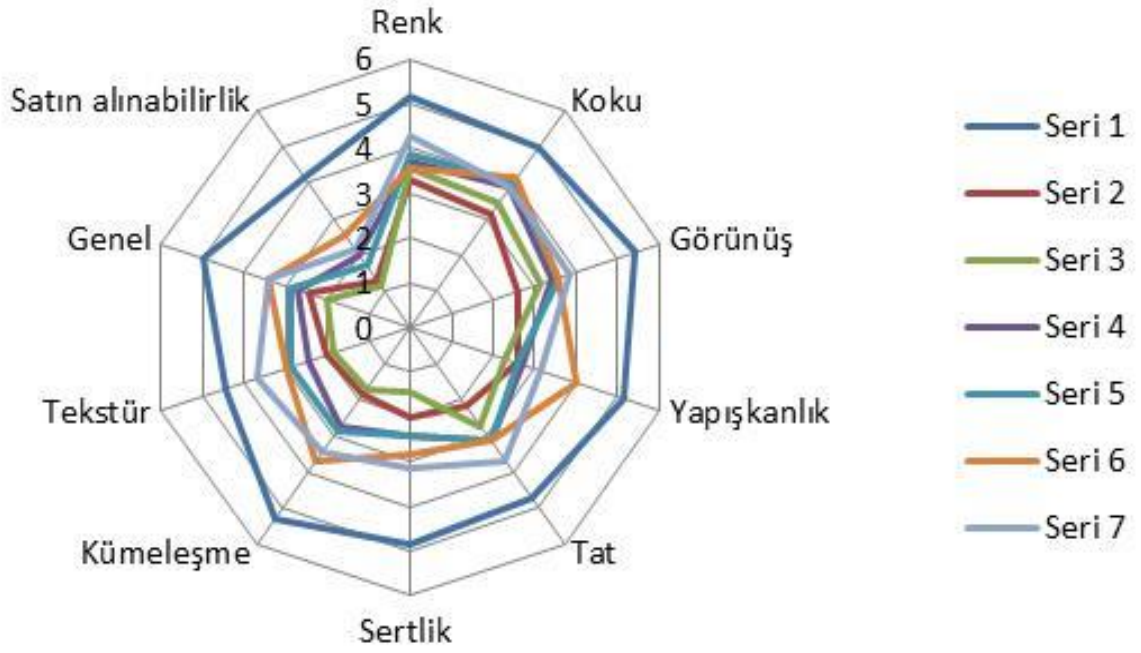
* a-e; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir (P<0,05).

Renk, gıda ürünlerine estetik değer kattığı için önemli bir parametredir (Bolarinwa ve Oyesiji, 2021). Makarna rengi ise, makarna kalite değerlendirmesi için önemlidir (Petitot ve ark., 2010) Makarna örneklerinin renk değeri incelendiğinde L değeri için 48,71-62,38 aralığında; a değeri için -0,04-10,69 aralığında; b değeri için 10,69-25,03 aralığında değerler aldığı görülmektedir. Glutensiz makarna örneklerinin L parlaklık değerleri en fazla 62,38 değeri ile %100 pirinç unundan yapılan 6 numaralı örnekte, en düşük ise %90 mısır unu %10 esmer pirinç unu ile yapılan 3 numaralı örnekte tespit edilmiştir. Şekil 1'de verilen makarna örneklerinden de 6 numaralı örneğin diğerlerine göre daha açık renk olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Makarna formülasyonuna %10 esmer pirinç unu eklenmesi makarnaların renklerinin daha koyu olmasına neden olmuştur.

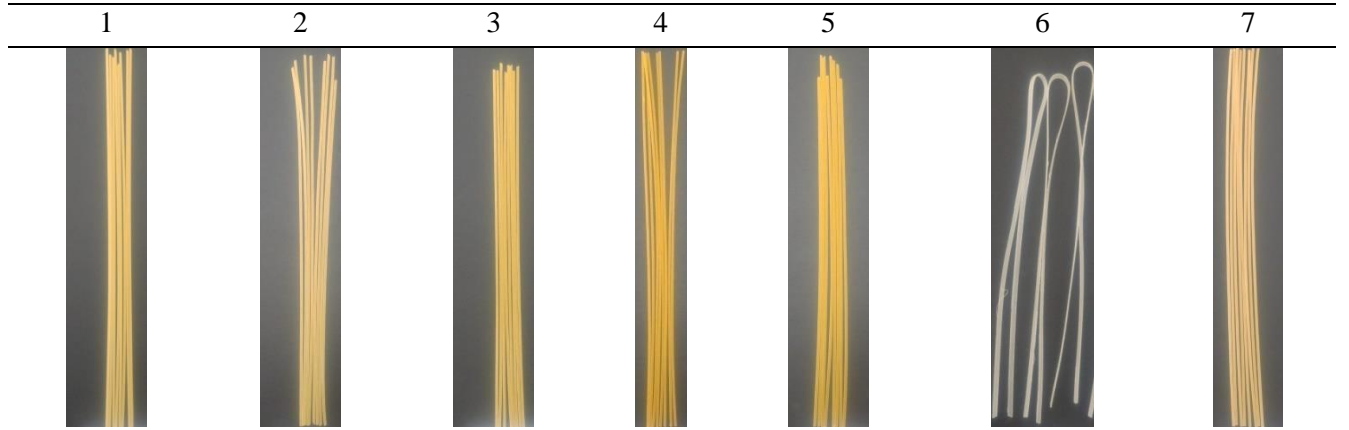
Makarna örneklerinin renk değerleri üzerinde; katkı çeşidi, dolgu materyali ve katkı oranı faktörleri ile “Katkı çeşidi x dolgu materyali”, Katkı çeşidi x katkı oranı”, “Dolgu materyali x katkı oranı” ve “Katkı çeşidi x dolgu materyali x katkı oranı” interaksiyonları istatistiki olarak önemlidir (Cankurtaran, 2016). Çalışmada incelenen glutensiz makarnaların bileşimlerinin farklı olması L, a, b ve ΔE değerinde farklılıklara sebep olmuştur. Mısır unu içeren örneklerde parlaklığın azaldığı görülmektedir. a (kırmızılık) değeri -0,04 ve 10,69 aralığında; b (sarılık) 12,46-25,03 aralığında; ΔE 10,40-16,45 aralığında değerler almıştır. Kırmızılık değeri %100 pirinç unundan yapılan glutensiz makarnalarda en düşük, %90 mısır unu+%10 esmer pirinç unu içeren glutensiz makarnalarda ise en yüksek değeri almıştır. Makarna tüketici tercihleri için sarı renk tercih sebebi olmaktadır (Pehlivan ve ark., 2008). Özellikle sarı renk değeri olan b değeri incelendiğinde glutensiz örneklerin kontrol gruptan farklı değerler aldığı görülmektedir. Mısır ununun sarılık renk değeri oldukça yüksektir (Altındağ 2011). Geleneksel buğday makarnaları da genellikle sarı olduğu için (Ugarcic-Hardi ve ark., 2003) glutensiz makarna üretiminde kullanılan mısır ununun ürünün sarılık renk değeri üzerinde etkisinin önemli olduğu düşünülmektedir.

3.5. *Glutensiz makarna örneklerinin duyuusal özellikleri*

Şekil 1 incelendiğinde; glutensiz makarna örnekleri duyuusal parametrelerin hepsinde kontrol gruba göre daha düşük puanlar aldığı görülmektedir. Renk, görünüş (Şekil 2), koku, tat ve tekstür bakımından kontrol gruba en yakın glutensiz örnek 7. örnek olurken; genel beğenilirlik ve satın alına bilirlik puanları tüm glutensiz makarnalarda kontrol gruba göre düşmüştür. Pirinç unu ile yapılan glutensiz makarna formülasyonuna soya unu ilavesi ürünün duyuusal özelliklerini arttırmaktadır (Bolarinwa ve Oyesiji 2021). Benzer olarak Mirhosseini ve ark. (2015), tarafından yapılan çalışmada da ticari olarak satılan glutensiz makarnalar kabak unu ilaveli glutensiz makarna örneklerine göre duyuusal değerlendirme de düşük puanlar almıştır. Çalışmada incelenen glutensiz makarna örnekleri pirinç unu, pirinç ve mısır nişastasından üretilmiş olması beğenilirliğin düşük olmasını açıklamaktadır. Diğerlerinden farklı olarak sadece 7. örnek kinoa ilavelidir. Renk, koku, tat ve tekstürde kontrol gruba benzer değerler alması bununla ilişkilendirilmiştir. Aksi fikir olarak bir çalışmada bezelye, nohut ve mercimek unununun pirinç unu ile yapılan glutensiz makarna örneklerine ilavesi duyuusal değerlendirmede görünüm, renk, lezzet, yapışkanlık ve genel kabul edilebilirlik açısından fark yaratmadığı bildirilmiştir (Bouasla ve ark., 2017).



Şekil 1. Makarna örneklerinin duysal özellikleri



Şekil 2. Makarna örneklerinin görselleri

3.6. Glutensiz makarna örneklerinin tekstür özellikleri

Gıdaların tekstür özellikleri, tüketicilerin ürün beğenisini sağlanması açısından kritik bir parametredir (Desai ve ark., 2018). Makarnaların paketlenme, taşıma ve depolama prosesleri sırasında dayanıklı olması, kırılmaması gerekmektedir (Jayasena ve Nasar-Abbas 2012). Bu sebeple kuru makarnalar için analiz edilen kırılma ve sertlik değerleri önemli parametrelerdir.

İncelenen makarna örneklerinin sertlik ve kırılma değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Kuru makarna örneklerinde sertlik değeri 182,23-403,74 g aralığında değişkenlik göstermiştir. Glutensiz makarnalardan bazıları sertlik ve kırılma değerleri açısından kontrol gruba benzermiştir. Daha yüksek ve daha düşük sertlik değerine sahip olan glutensiz makarna örnekleri de mevcuttur. Kırılma değerleri tüm örneklerde 25,61- 31-80 mm değerleri arasında değerler göstermiştir.

Tablo 5. Kuru makarna örneklerinde sertlik ve kırılgenlik

| Örnek | Sertlik (g) | Kırılgenlik (mm) |
|---------|--|-------------------------|
| Kontrol | 310,26 [*] ±1,76 ^b | 30,48±0,07 ^c |
| GM1 | 330,30±6,87 ^b | 31,19±0,03 ^b |
| GM2 | 403,74±6,60 ^a | 30,36±0,07 ^c |
| GM3 | 253,43±7,58 ^c | 30,21±0,15 ^c |
| GM4 | 242,82±7,79 ^c | 31,80±0,04 ^a |
| GM5 | 182,23±2,23 ^d | 25,61±0,22 ^d |
| GM6 | 258,58±12,41 ^c | 31,60±0,10 ^a |

* a-d; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir (P<0,05).

Makarnanın pişme kalitesini belirlemede en önemli kıstas tekstürel özelliklerdir. Pişmiş makarna yenilirken yapışkan olmamalı ve ısırdığı zaman ağızda hafif sertlik hissini vermelidir (Büyükbeşe ve ark., 2020). Glutenli ve glutensiz pişmiş makarna örneklerinin tekstür değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Pişmiş makarnaların sertlik değeri 1891-3172 g aralığında tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde glutensiz makarnaların sertlik değerinin kontrol gruba göre yüksek olduğu görülmektedir. Sertlik, bir kuvvet uygulandığında malzemenin mekanik direnci hakkında bilgi veren, dağılmaya karşı koyan kuvvet ile ilgili bir kavramdır (D’Egidio ve Nardi, 1996). Bu özellik genellikle ilk ısırık ile ilgilidir ve bu nedenle gıda ne kadar sert olursa, ilk ısırık için o kadar fazla kuvvet gerekir. Bu faktör, doğal gıda özellikleri ve tüketici beğenisi dikkate alındığında son derece önemlidir (Vieira ve ark., 2021). Tüketiciler için gıdaların tekstür özellikleri ürünün kabul edilebilirliği açısından kritik bir parametredir (Desai ve ark., 2018)

Tablo 6. Makarna örneklerinin TPA özellikleri

| Örnek | Sertlik g | Yapışkanlık g. sec | Esneklik | Kohezyon | Çiğneyebilirlik | Elastikiyet |
|---------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Kontrol | 2074,84 [*] ±16,28 ^d | -22,13±4,23 ^a | 0,88±0,00 ^{abc} | 0,69±0,01 ^{abc} | 1276,22±28,78 ^c | 1,05±0,02 ^c |
| GM1 | 2840,33±30,29 ^b | -18,11±1,40 ^a | 0,88±0,01 ^{abc} | 0,66±0,01 ^{abc} | 1648,92±16,31 ^{ab} | 0,97±0,01 ^{cd} |
| GM2 | 2322,78±33,63 ^c | -17,70±1,56 ^a | 0,87±0,01 ^{bc} | 0,73±0,01 ^a | 1477,17±50,30 ^{bc} | 1,22±0,05 ^b |
| GM3 | 2956,84±44,63 ^b | -17,93±1,10 ^a | 0,90±0,00 ^a | 0,59±0,04 ^c | 1590,59±117,38 ^{ab} | 0,99±0,06 ^{cd} |
| GM4 | 2850,23±68,41 ^b | -21,37±2,55 ^a | 0,89±1,11 ^{ab} | 0,71±0,06 ^{ab} | 1807,17±48,73 ^a | 1,10±0,05 ^{bc} |
| GM5 | 1891,73±60,35 ^e | -20,01±0,56 ^a | 0,85±0,01 ^c | 0,76±0,07 ^a | 1247,78±187,65 ^c | 1,48±0,04 ^a |
| GM6 | 3172,06±12,41 ^a | -16,06±1,44 ^a | 0,90±0,00 ^a | 0,61±0,01 ^{bc} | 1737,63±57,28 ^{ab} | 0,85±0,02 ^d |

* a-d; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir (P<0,05).

Serin (2018) tarafından yapılan çalışmada, mısır ve pirinç bazlı glutensiz un formülasyonu ile üretilen glutensiz makarna örneklerinde sertlik değeri 1427-1978g aralığında değişmiştir. Aynı çalışmada belirlenen glutensiz un formülasyonuna %30 mercimek, nohut, kinoa ve karabuğday unlarının ilavesi ile sertlik değeri 1252- 2198 g aralığında değiştiği raporlanmıştır. Baah vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, glutensiz makarna örneklerinin sertlikleri 8,69-22,1 N (869-2210 G); yapışkanlık değerlerinin -0,37 ile -0,58 N aralığında olduğu, sertlik arttıkça yapışkanlık değerinin de azaldığı bildirilmiştir. Yeyinli (2006) tarafından yapılan çalışmada, pişmiş makarnaların sertlik değeri 6,96-7,30g.cm aralığında; yapışkanlık değeri 82,64-105,76 g aralığında belirlenmiştir. İncelenen makarna

örneklerinde de sertliğin farklı bir aralıkta çıkması formülasyonlarında farklılıklarının olmasından kaynaklanmaktadır (Lai 2001; Raina ve ark., 2005; Gallegos-Infate ve ark., 2010)

Gluten içermeyen gıdalarda genel olarak karşılaşılan önemli bir kalite kusuru da tekstürel özelliklerdir. Bu durumu önlemek için genellikle formülasyona farklı gamlar, enzim ve modifiye nişasta ilave edilerek tekstürel özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır (Gusmão ve ark., 2019). Buğday irmiğinden yapılan makarna formülasyonuna farklı glutensiz ürünlerin ilavesiyle birlikte sertliğin artması beklenen bir durumdur. Bu durum glutenin azalması veya toplam proteinin artmasına bağlanmaktadır (Bahnassey ve Khan, 1986; Doxastakis ve ark., 2007).

Tekstür özelliği olarak yapışkanlık, pişmiş makarna yüzeyinin dil, diş, damak veya ellere yapışma durumunu ifade etmektedir (Del Nobile ve ark., 2005). Yüzey özellikleri ile ilgili bir parametredir (D'Egidio ve Nardi, 1996). Örneklerin yapışkanlık değerleri -16,06 - -21,37 g.sec olarak belirlenmiştir. Örnekler arasında istatistiki bir fark olmadığı görülmektedir (Tablo 6).

Esneklik değerleri incelendiğinde glutensiz makarnalardan bazılarının kontrol gruba göre daha yüksek esneklik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Oysaki gluten miktarının azalması esnekliği azaltan bir durumdur (Silva ve ark., 2013). Bu duruma makarna formülasyonuna ilave edilen farklı unların sebep olduğu öngörülmektedir. Kohezyon fiziksel anlamda iç bağların kuvveti hakkında bilgi veren bir değerdir. Makarna örneklerinin kohezyon değerinin 0,59 – 0,76 aralığında olduğu belirlenmiştir. Glutensiz makarnaların kontrol guruba yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu durumda glutensiz makarna formülasyonuna ilave edilen katkı maddelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Makarna örneklerinin çignenebilirlik değeri 1247,78 - 1807,17 aralığında, elastikiyet değerinin ise 0,97 - 1,48 değerler almıştır. Glutensiz makarnalarda sertlikle birlikte bu değerlerin de kontrol gruba göre yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç

Çölyak hastaları ve glutensiz beslenmeyi seçmiş tüketiciler için üretilen ürünlerin çoğu farklı nişastalar kullanılarak üretildiği için besin değerleri düşmektedir. Özellikle hasta grup tüketicilerin iyi beslenmeleri gerektiği göz önünde bulundurulursa glutensiz ürün gruplarının formülasyonlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir. Formülasyonlarda, mineral madde, antioksidan, fenolik madde, diyet lif içeriklerini geliştirecek özel bileşenler kullanılmalıdır. Bu çalışmada ticari olarak satışta olan altı farklı marka glutensiz makarna içeriği incelenmiş yine satışta olan normal makarna örneği ile karşılaştırılmıştır. Glutensiz makarnaların kül içerikleri, antioksidan ve fenolik madde içeriklerinin daha farklı glutensiz ürün grupları ile desteklenerek artırılması gerekmektedir. Tüketiciler ilk olarak ürünü görsel olarak değerlendirdikleri için renk ve şekil-yapı özelliklerinin kabul edilebilir özellikte olması ve daha sonra duyuşal olarak beğenmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen glutensiz makarna örneklerinin duyuşal değerlendirilmesinde normal makarnaya göre tüm parametrelerin tüketiciler tarafından düşük puanlar aldığı belirlenmiştir. İleride yapılacak glutensiz makarna

formülasyon geliştirme çalışmalarında tüketicinin beğenisi de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

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

- AACC. Approved methods of the american association of cereal chemists methods 08-01, 44-01, 66-50, tenth ed. The Association, St Paul, MN. 2000.
- Ainsa A., Vega A., Honrado A., Marquina P., Roncales P., Gracia JAB., Morales JBC. Gluten-free pasta enriched with fish by-product for special dietary uses: technological quality and sensory properties. *Foods* 2021; 10(12): 3049.
- Aksoylu Z. Bisküvinin fonksiyonel özellik taşıyan bazı bitkisel ürünlerce zenginleştirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:144, Manisa, Türkiye, 2012.
- Albuja-Vaca D., Yopez C., Vernaza MG., Navarrete, D. Gluten-free pasta: development of a new formulation based on rice and lupine bean flour (*Lupinus Mutabilis*) using a mixture-process design. *Food Science and Technology* 2019; 40(1): 408-414.
- Arcangelis E., Cuomo F., Trivisonno MC., Marconi E., Messia MC. Gelatinization and pasta making conditions for buckwheat gluten-free pasta. *Journal of Cereal Science* 2020; 95(1): 103073
- Baah RO., Duodu KG., Emmambux MN. Cooking quality, nutritional and antioxidant properties of gluten-free maize–Orange-fleshed sweet potato pasta produced by extrusion. *LWT* 2022; 162(1): 113415.
- Bahnassef Y., Khan K. Fortification of spaghetti with edible legumes. II. Rheological, processing, and quality evaluation studies. *Cereal Chemistry* 1986; 63(3): 216-219.
- Balakireva AV., Zamyatnin AA. Properties of gluten intolerance: gluten structure, evolution, pathogenicity and detoxification capabilities. *Nutrients* 2016; 8(10): 644.
- Bolarinwa IF., Oyesiji OO. Gluten free rice-soy pasta: proximate composition, textural properties and sensory attributes. *Heliyon* 2021; 7(1): 06052.
- Büyükbeşe D., Emre EE., Kaya A. Farklı oranlarda gam, protein ve emülgatör kullanımı ve jelatinizasyonun pirinç makarnası kalitesine etkisi. *Akademik Gıda* 2020; 18(1): 45-63.

- Cankurtaran T. Dolgulu ve dolgunsuz yaş makarna üretiminde buğday kepeği ve buğday ruşeymi katkısının bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi,139, Konya,2016.
- Chillo S., Laverse J., Falcone PM., Del Nobile MA. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. *Journal of Food Engineering* 2008; 84(1): 101–107.
- Cleary L., Brennan C. The influence of a (1/3) (1/4) e b e d e glucan rich fraction from barley on the physico-chemical properties and in vitro reducing sugars release of durum wheat pasta. *International Journal of Food Science and Technology* 2006; 41(2): 910-918.
- Culetu A., Duta DE., Papageorgiou M., Varzakas T. The Role of hydrocolloids in gluten-free bread and pasta; rheology, characteristics, staling and glycemic index. *Foods* 2021; 10(12): 3121.
- D'Egidio MG., Nardi S. Textural measurement of cooked spaghetti”, (Eds: J. E. Kruger, R. B. Matsuo and J. W. Dick), *Pasta and noodles technology*, St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists 1996; 133-156.
- Değirmenci G. Bazı makarnalık buğday (*Triticum Durum* Desf.) çeşitlerinin verim, kalite ve antioksidan aktivite özelliklerinin belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 2017.
- Delcour J., Hosney R. *Principles of cereal science and technology* (pp. 229-239). Saint Paul: AACC International 2010.
- Desai A., Brennan MA. Brennan CS. The effect of semolina replacement with protein powder from fish (*Pseudophycis bachus*) on the physicochemical characteristics of pasta. *LWT - Food Science and Technology* 2018; 89(4): 52-57.
- Doxastakis G., Papageorgiou M., Mandalou D., Irakli M., Papalamprou E., D'Agostina A., Arnoldi A. Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chemistry* 2007; 101(1): 57-64.
- Elgün A., Ertugay Z., Certel M., Kotancılar HG. Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama kılavuzu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisleri, Erzurum 2002.
- Elgün A., Türker S., Bilgiçli N. Tahıl ürünleri teknolojisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Konya 2015.
- El-Sohaimy SA., Brennan M., Darwish AMG., Brennan C. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences* 2020; 65(1): 28-34.
- Ertaş N., Aslan M., Çevik A. Improvement of structural and nutritional quality of gluten free pasta. *Journal of Culinary Science & Technology* 2022; 14(5):1-19.
- Fuad T., Prabhasankar P. Role of ingredients in pasta product quality: a review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2010; 50(8): 787-798.

- Gallegos-Infante JA., Rocha-Guzman NE., Gonzales-Laredo RF., OchoaMartinez LA., Corzo N., Bello-Perez LA., Medina-Torres L. PeraltaAlvarez LE. Quality of spaghetti pasta containnig mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry* 2010; 119(4): 1544-1549.
- Gao Y., Janes ME., Chaiya B., Brennan MA., Brennan CS., Prinyawiwatkul W. Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. *International Journal of Food Science & Technology* 2018; 53(1): 19-32.
- Hayıt F., Gül H. Kinoa ununun ve kısmi pişirilerek dondurma yönteminin glutensiz ekmek kalitesi üzerine etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2019; 9(2): 406-427.
<https://www.makarna.org.tr/d/makarna-sektoru/makarna-uretimi/41/> (Erişim 02.03.2022)
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2002/03/20020305.htm#10> (Erişim 12.04.2021)
- Izydorczyk MS., Lagasse SL., Hatcher DW., Dexter JE. Rossnagel BG. The enrichment of Asian noodles with fiber-rich fractionsderived from roller milling of hull-less barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2005; 85 (12): 2094-2104.
- Johnston CS., Snyder D., Smith C. Commercially available gluten-free pastas elevate postprandial glycemia in comparison to conventional wheat pasta in healthy adults: a double-blind randomized crossover trial. *Food & function* 2017; 8(9): 3139-3144.
- Kieffer R., Wieser H., Henderson MH. Graveland A. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *Journal of Cereal Science* 1998; 27(5): 53-60.
- Lai HM. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2001; 82(1): 203-216.
- Larrosa V., Lorenzo G., Zaritzky N., Califano A. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. *LWT* 2016; 70(3), 96-103.
- Larrosa V., Lorenzo G., Zaritzky N., Califano A. Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. *Journal of Cereal Science* 2013; 57(3): 520-526.
- Lorusso A., Verni M., Montemurro M., Coda R., Gobbetti M. Rizzello CG. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features, *LWT-Food Science and Technology* 2017; 78(1): 215-221.
- Lucisano M., Cappa C., Fongaro L., Mariotti M. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the cooking behaviour. *Journal of Cereal Science* 2012; 56(3): 667-675.
- Marti A., and Padalino MA. What can play the role of gluten in gluten free pasta?, *Trends in Food Science & Technology* 2013; 31(1): 63-71.
- Mirhosseini H., Rashid NFA., Amid BT., Cheong KW., Kazemi M., Zulkurnain M. Effect of partial replacement of corn flour with durian seed flour and pumpkin flour on cooking yield, texture

- properties, and sensory attributes of gluten free pasta. *LWT-Food science and Technology* 2015; 63(1): 184-190.
- Morreale F., Boukid F., Carini E., Federici E., Vittadini E., Pellegrini N. An overview of the Italian market for 2015: Cooking quality and nutritional value of gluten-free pasta. *International Journal of Food Science & Technology* 2019; 54(3): 780-786.
- Morreale F., Boukid F., Carini E., Federici E., Vittadini E., Pellegrini N. An overview of the Italian market for 2015: Cooking quality and nutritional value of gluten-free pasta. *International Journal of Food Science & Technology* 2019; 54(3): 780-786.
- Orlandin L., Botelho R., de Lacerda L., Zandonadi R., Figueiredo L., Queiroz V. Gluten-free sorghum pasta: composition and sensory evaluation with six different sorghum genotypes. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 2019; 119(10): A127.
- Özgören E. 2019. Balık eti kullanımının makarna kalite özellikleri üzerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 154, Denizli, 2019.
- Özkaya B., Özkaya H. Mısır katkıları unların teknolojik özelliklerine vital gluten ve SSL'nin (Na-Stearoyl-2-Lactilate) etkileri. *Gıda* 1992; 17(6).
- Padalino L., Conte A., Del Nobile MA. Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. *Foods* 2016; 5(4): 87.
- Padalino L., Mastromatteo M., Lecce L., Cozzolino F., Del Nobile MA. Manufacture and characterization of gluten-free spaghetti enriched with vegetable flour. *Journal of Cereal Science* 2013; 57(3): 333-342.
- Pehlivan A., Evlice A., Şanal T., Çinkaya N., Özderen T., Keçeli A. Makarnalık buğdaylarda (*Triticum durum* Desf.) irmik rengi ile tane rengi arasındaki ilişkinin incelenmesi. Ülkesel Tahıl Sempozyumu, 2-5 Haziran 2008, KONYA
- Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 2010; 43(2): 634-641.
- Purwandari U., Khoiri A., Muchlis M., Noriandita B., Zeni NF., Lisdayana N., Fauziyah E. Textural, cooking quality, and sensory evaluation of gluten-free noodle made from breadfruit, konjac, or pumpkin flour. *International Food Research Journal* 2014; 21(4): 1623.
- Rachman A., Brennan MA., Morton J., Brennan CS. Gluten-free pasta production from banana and cassava flours with egg white protein and soy protein addition. *International Journal of Food Science & Technology* 2020; 55(8): 3053-3060.
- Raina CS., Singh S., Bawa AS., Saxena DC. Textural characteristics of pasta made from rice flour supplemented with proteins and hydrocolloids. *Journal of Texture Studies* 2005; 36(3): 402-420.
- Rajeswari G., Susanna S., Prabhasankar P., Venkateswara Rao G. Influence of onion powder and its hydrocolloid blends on pasta dough, pasting, microstructure, cooking and sensory characteristics. *Food Bioscience* 2013; 14(2):13-20.

- Rocchetti G., Lucini L., Chiodelli G., Giuberti G., Montesano D., Masoero F., Trevisan M. Impact of boiling on free and bound phenolic profile and antioxidant activity of commercial gluten-free pasta. *Food Research International* 2017; 10(5): 69-77.
- Rosa-Sibakov N., Heiniö RL., Cassan D., Holopainen-Mantila U., Micard V., Lantto R., Sozer N. Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT-Food Science and Technology* 2016; 6(7): 27-36.
- Serin A. Glutensiz makarna formülasyonlarının farklı ingrediyeentlerle zenginleştirilmesi ve makarna kalitesinin artırılması. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, 2018.
- Silva NAB., Silva JC., dos Reis Silva SL., Gonçalves ACA., da Silva WA., Pires CV., Trombete FM. Desenvolvimento e avaliação sensorial de massa de pizza sem glúten, fonte de fibras e adicionada de psyllium. *Caderno de Ciências Agrárias* 2019; 11(3): 1-8.
- Simonato B., Curioni A., Pasini G. Digestibility of pasta made with three wheat types: A preliminary study. *Food Chemistry* 2015; 17(4): 219-225.
- Singleton VL., Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology And Viticulture* 1965; 16(3): 144-158.
- Suo X., Dall'Asta M., Giuberti G., Minucciani M., Wang Z., Vittadini E. The effect of chickpea flour and its addition levels on quality and in vitro starch digestibility of corn-rice-based gluten-free pasta. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 2022; 73(5): 600-609.
- Szczesniak AS. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference* 2002; 13(4): 215-225.
- Teterycz D., Sobota A., Zarzycki P., Latoch A. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *Journal of Food Science and Technology* 2020; 57(1):301-309.
- Thakur A., Vaidya D., Kumar S., Kaushal M., Chauhan N. Standardization and characterization of Himalayan wild apricot (geographical indicator) kernel press cake protein isolate and utilization for manufacture of gluten-free pasta. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022; 46(2): e16271.
- Torres A., Frias J., Granito M. Vidal-Valverde C. Germinated cajanus cajan seeds as ingredients in pastaproducts: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry* 2007; 101(1): 202-211.
- Udachan I., Gatade A., Ranveer R., Lokhande S., Mote G., Sahoo AK. Quality evaluation of gluten-free brown rice pasta formulated with green matured banana flour and defatted soy flour. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022;10(1): 16448.
- Ugarčić-Hardi Ž., Hackenberger D., Šubarić D., Hardi J. Effect of soy, maize and extruded maize flour addition on physical and sensory characteristics of pasta. *Italian Journal of Food Science* 2003; 15(2): 277-286.
- Ungureanu-Iuga M., Dimian M., Mironeasa S. Development and quality evaluation of gluten-free pasta with grape peels and whey powders. *Lwt* 2020; 130(1): 109714.

Vieira A., Silva A., Albuquerque A., Almeida R., Rodrigues T., Silva L., Duarte M., Cavalcanti-Mata M., Rocha A. Effects of long-term frozen storage on the quality and acceptance of gluten-free cassava pasta. *Heliyon* 2021; 7(8): 1-9.

Finite Complete Rewriting Systems for the Monoids M , ρ , and M/ρ

Aykut EMNİYET^{1*}, Basri ÇALIŞKAN²

¹Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, 80000, Osmaniye, Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, 80000, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4993-4229>

²<https://orcid.org/0000-0003-0512-4208>

*Corresponding author: aykutemniyet@osmaniye.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 25.03.2022

Accepted: 07.10.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Semigroups

Monoids

Presentations

Congruences

Rewriting systems

ABSTRACT

Let M be a monoid and ρ be an equivalence relation on M such that ρ is a congruence. So, ρ is a submonoid of the direct product of monoids $M \times M$, and $M/\rho = \{x\rho: x \in M\}$ is a monoid with the operation $(x\rho)(y\rho) = (xy)\rho$. First, an introductory lemma is proposed, proved and a relevant example is given. Then, it is shown that if ρ can be presented by a finite complete rewriting system, then so can M . As the final part of the main result, it is proved that if ρ can be presented by a finite complete rewriting system, then so can M/ρ .

M , ρ ve M/ρ Monoidleri için Sonlu Tam Yeniden Yazma Sistemleri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.03.2022

Kabul tarihi: 07.10.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Yarıgruplar

Monoidler

Takdimler

Kongruanslar

Yeniden yazma sistemleri

ÖZ

M bir monoid ve ρ , M üzerinde kongrüans olacak biçimde bir denklik bağıntısı olsun. Böylece, ρ , $M \times M$ monoidlerinin direkt çarpımının bir alt monoidi ve $M/\rho = \{x\rho: x \in M\}$ kümesi $(x\rho)(y\rho) = (xy)\rho$ işlemi ile bir monoid olur. Öncelikle, bir giriş lemması ifade ve ispat edilerek konu ile ilgili bir örnek verilmektedir. Daha sonra, eğer ρ bir sonlu tam yeniden yazma sistemi ile takdim edilebilir ise, M 'nin de bir sonlu tam yeniden yazma sistemi ile takdim edilebilir olduğu gösterilmektedir. Ana sonucun son kısmında, eğer ρ bir sonlu tam yeniden yazma sistemi ile takdim edilebilir ise, M/ρ monoidinin de bir sonlu tam yeniden yazma sistemi ile takdim edilebilir olduğu gösterilmektedir.

To Cite: Emniyet A., Çalışkan B. Finite Complete Rewriting Systems for the Monoids M , ρ , and M/ρ . Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 720-725.

1. Introduction

String rewriting systems can be regarded as the basis in the development of theoretical computer science and have been widely studied by researchers recently (Squier et al., 1994; Wang, 1998, Wong et al., 2010; Gray, Malheiro, 2011). Max Dehn in (Dehn, 1911) introduced the word problem, whose solvability is one of the fundamental questions in combinatorial semigroup theory, for finitely presented groups. It is well known that there can be no calculus to solve the word problem in finitely presented groups and monoids. So it is important to know which monoids (or groups) have a solvable

word problem. A condition for the word problem on a monoid to be solvable is that the monoid can be presented by a *finite complete rewriting system*, or in short an FCRS.

In (Ayık et al., 2005), it is shown that if ρ is finitely presented as a subsemigroup of the direct product $S \times S$, then S is finitely presented where S is a semigroup, and ρ is a congruence on S . It was shown in (Wang, 2007) that if ρ has finite derivation type as a subsemigroup of $S \times S$, then S has finite derivation type and in addition, it is proved that the converse is not true. The author in (Kuyucu, 2011) investigated some relations among ranks of semigroups S , ρ and S/ρ . In (Çalışkan, 2010), some finiteness conditions for the semigroups S , ρ and S/ρ are studied. FCRSs for matrix semigroup presentations are examined in (Özer and Yüksek, 2016). Authors in (Çetinalp and Karpuz, 2021) studied the solvability of the word problem for infinite groups by obtaining a presentation for the crossed product and then finding its complete rewriting system.

2. Materials and Method

2.1. Semigroup presentations and rewriting systems

In this section, we give preliminary material needed in our forthcoming results. The readers who would like further reading on semigroup presentations and rewriting systems may refer to (Book and Otto, 1993; Sims, 1994; Howie, 1995).

Let A be an alphabet, A^+ be the set of all non-empty words over A , and let A^* be the free monoid (i.e. A^+ is determined with the empty word) on A . A semigroup presentation is an ordered pair $\langle A|R \rangle$ where $R \subseteq A^+ \times A^+$ (Gray and Malheiro, 2011). An element a of A is called a generating symbol, while an element (r, s) of R is called a defining relation, and is usually written as $r = s$. If the set of defining symbols $A = \{a_1, a_2, a_n\}$ and the set of defining relations $R = \{r_1 = s_1, r_2 = s_2, \dots, r_n = s_n\}$, then we write $\langle A|R \rangle = \langle a_1, a_2, \dots, a_n | r_1 = s_1, r_2 = s_2, r_n = s_n \rangle$. The semigroup defined by a presentation $\langle A|R \rangle$ is A^+/ρ , where ρ is the least congruence on A^+ containing R . For any two words $u_1, u_2 \in A^+$ we write $u_1 = u_2$ if $u_1\rho = u_2\rho$, and $u_1 \equiv u_2$ if they are identical words. We say $u_1 = u_2$ if and only if there is a finite sequence $u_1 \equiv \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k \equiv u_2$ of words from A^+ , in which every term α_i $1 < i \leq k$ is obtained from the previous one by applying one relation from R . The semigroup S is finitely generated if the set A is finite; S is finitely presented if the sets A and R are both finite. A monoid presentation is defined similarly (Gray and Malheiro, 2011).

A (string) rewriting system on A is a subset $R \subseteq A^* \times A^*$. A rule of R is an element $(u, v) \in R$, and is also denoted by $u \rightarrow v$. A rewriting system is used to replace the words on the left sides of rules with the corresponding right sides. Suppose u and v are in A^* . The single-step reduction relation \rightarrow_R is the following relation on A^* ,

$u \rightarrow_R v$ iff $u \equiv x\alpha y$ and $v \equiv x\beta y$ for some $(\alpha, \beta) \in R$ and $x, y \in A^*$ (Wang, 1998). We say that u is obtained from v using R if there is a sequence of words $u \equiv u_1, u_2, \dots, u_t \equiv v$ with $t \geq 0$ such that u_{i+1} is obtained from u_i in one step. This procedure is called a *multi-step reduction relation* and is denoted by $u \rightarrow_R^* v$.

R is called a Noetherian rewriting system if there is no infinite sequence $w \rightarrow_R w_1 \rightarrow_R w_2 \rightarrow_R \dots$ for any word $w \in A^*$, and confluent if whenever $w \rightarrow_R^* u$ and $w \rightarrow_R^* v$, there is a $z \in A^*$ such that $u \rightarrow_R^* z$ and $v \rightarrow_R^* z$. R is complete if it is both Noetherian and confluent (Pride, 2000). If a complete rewriting system R has a finite generating set, then R is called a *finite complete rewriting system* (FCRS).

If a monoid admits a presentation with respect to some generating set A that forms a finite complete rewriting system R , then the monoid is obtained as an FCRS (Otto, 1984).

3. Results and Discussion

In this section, we state and prove our results on FCRSs for the monoids ρ , M and M/ρ . Let φ_i be the i -th projection from ρ to S for $i = 1, 2$. If $\langle X|R \rangle$ and $\langle X_i|R_i \rangle$ are finite semigroup presentations for ρ and M , respectively, then it is obtained that $X_i = \varphi_i(X)$, $R_i = \varphi_i(R) = \{(\varphi_i(r), \varphi_i(s)) : (r, s) \in R\}$ ($i = 1, 2$) (Ayık et al., 2005).

Lemma 3.1. Let M be a monoid and ρ be a congruence on M . Let φ_i be defined as above and let X be a finite generating set for ρ . Then, there exist $(u, u) \rightarrow_R^* (v, v)$ for all $(u, u), (v, v) \in X^*$ iff there exist $u, v \in X_i^* = \varphi_i(X)^*$ such that $u \rightarrow_{R_i}^* v$, where $u = \varphi_i(u, u)$, $v = \varphi_i(v, v)$ ($i = 1, 2$).

Proof. Suppose there exist $(u, u) \rightarrow_R^* (v, v)$ for all $(u, u), (v, v) \in X^*$. So, we have

$$(u, u) \equiv (r_1, s_1), (r_2, s_2), \dots, (r_t, s_t) \equiv (v, v)$$

with $t \geq 0$ such that $(r_{j+1}, s_{j+1}) \in X^*$ is obtained from $(r_j, s_j) \in X^*$ in one step, (that is, $(r_{j+1}, s_{j+1}) \equiv (x, y)(\alpha, \beta)(q, z)$, $(r_j, s_j) \equiv (x, y)(\gamma, \delta)(q, z)$, $(x, y), (q, z) \in X^*$ and $((\alpha, \beta), (\gamma, \delta)) \in R$, $0 \leq j < t$). If we apply φ_i to this sequence, then we have

$$\varphi_i(u, u) \equiv \varphi_i(r_1, s_1), \varphi_i(r_2, s_2), \dots, \varphi_i(r_t, s_t) \equiv \varphi_i(v, v)$$

$$u \equiv r_1, r_2, \dots, r_t \equiv v \text{ (or } u \equiv s_1, s_2, \dots, s_t \equiv v)$$

such that $r_{j+1} \in \varphi(X)^* = X_i^*$ is obtained from $r_j \in \varphi(X)^* = X_j^*$ in one step. If we take $u = \varphi_i(u, u)$ and $v = \varphi_i(v, v)$, so we have $u \rightarrow_{R_i}^* v$.

(\Leftarrow): Assume that there exist $u, v \in X_i^*$ such that $u \rightarrow_{R_i}^* v$. From Lemma 2.1 (Ayık et al., 2005), we have $X_i = \varphi_i(X)$ is a generating set for M . Also, since ρ is a congruence on M and from Proposition 2.3 (Ayık et al., 2005) ρ has a finite reflexive generating set, then $(u, u), (v, v) \in \rho$. Since $u \rightarrow_{R_i}^* v$ we have

$$u \equiv q_1, q_2, \dots, q_m \equiv v$$

with $m \geq 0$ such that $q_{k+1} \in X_i^*$ is obtained from $q_k \in X_i^*$ in one step, (that is, $q_{k+1} \equiv apb$, $q_k \equiv azb$, $a, b \in X_i^*$ and $(p, z) \in R_i$, $0 \leq k < m$). By the property of transitivity, we have all relations $(q_1, q_2), (q_2, q_3), \dots, (q_{m-1}, q_m) \in \rho = \langle X \rangle$ with $m \geq 0$ such that $(q_{k+1}, q_{k+2}) \in X^*$ is obtained from $(q_k, q_{k+1}) \in X^*$ in one step, (that is, $(q_{k+1}, q_{k+2}) \equiv (x', y')(\alpha', \beta')(q', z')$,

$(q_k, q_{k+1}) \equiv (x', y')(y', \delta')(q', z')$, $(x', y'), (q', z') \in X^*$ and $((\alpha', \beta'), (y', \delta')) \in R$, $0 \leq k < m$.
Therefore, if we choose $(u, u) = (q_1, q_1)$ and $(v, v) = (q_m, q_m)$, then we have $(u, u) \rightarrow_R^* (v, v)$.

Example 3.2. Let M be a monoid, ρ be a congruence on M , $X = \{(a, a), (b, b)\}$ be a finite generating set for ρ and $\{((a^2, a^2), (e, e)), ((b^2, b^2), (e, e)), ((bab, bab), (aba, aba))\}$ be the rewriting rules of R .

If φ_i is applied to R , then $\varphi_i(R) = R_i = \{(a^2, e), (b^2, e), (bab, aba)\}$ is obtained. By choosing $u \equiv ba^5b^3a$ and $v \equiv ab$, we have the following results:

$$u \equiv ba^5b^3a \xrightarrow{R_i(a^2, e)} ba^3b^3a \xrightarrow{R_i(a^2, e)} bab^3a \xrightarrow{R_i(b^2, e)} baba \xrightarrow{R_i(bab, aba)} aba^2 \xrightarrow{R_i(a^2, e)} ab \equiv v$$

and

$$\begin{aligned} (u, u) &\equiv (ba^5b^3a, ba^5b^3a) \equiv (ba^3, ba^3)(a^2, a^2)(b^3a, b^3a) \\ &\xrightarrow{R_i(a^2, a^2)=(e, e)} (ba^3b^3a, bab^3a) \equiv (ba, ba)(a^2, a^2)(b^3a, b^3a) \\ &\xrightarrow{R_i(a^2, a^2)=(e, e)} (bab^3a, bab^3a) \equiv (bab, bab)(b^2, b^2)(a, a) \\ &\xrightarrow{R_i(b^2, b^2)=(e, e)} (baba, baba) \equiv (bab, bab)(a, a) \\ &\xrightarrow{R_i(bab, bab)=(aba, aba)} (aba^2, aba^2) \equiv (ab, ab)(a^2, a^2) \\ &\xrightarrow{R_i(a^2, a^2)=(e, e)} (ab, ab) \equiv (u, u). \end{aligned}$$

Theorem 3.3. Let M be a monoid and ρ be a congruence on M . If ρ can be presented by an FCRS as a submonoid of $M \times M$, then so can M .

Proof. Let $\langle X|R \rangle$ be a finite monoid presentation for the monoid ρ . Suppose R is an FCRS on X as a submonoid of $M \times M$. Let $\langle X_i|R_i \rangle$ be a finite monoid presentation for M with the above notation. We will prove that R_i is an FCRS on X_i .

Firstly we show that R_i is confluent.

Let $u \rightarrow_{R_i}^* v$ and $u \rightarrow_{R_i}^* w$, where $u, v \in X_i^*$. By Lemma 3.1, there are words $(u, u), (v, v)$ and $(w, w) \in X^*$ such that $(u, u) \rightarrow_R^* (v, v)$ and $(u, u) \rightarrow_R^* (w, w)$, where $u = \varphi_i(u, u)$, $v = \varphi_i(v, v)$ and $w = \varphi_i(w, w)$. Since R is an FCRS on X , there is an irreducible word $(q, q) \in X^*$ such that $(v, v) \rightarrow_R^* (q, q)$ and $(w, w) \rightarrow_R^* (q, q)$. If we take $q = \varphi_i(q, q)$, then, from Lemma 3.1 we have

$$v = \varphi_i(v, v) \rightarrow_{R_i}^* \varphi_i(q, q) = q$$

and

$$w = \varphi_i(w, w) \rightarrow_{R_i}^* \varphi_i(q, q) = q$$

Thus, R_i is confluent.

Now, we want to show that R_i is Noetherian. Suppose there is an infinite sequence such

$$w_1 \rightarrow_{R_i} w_2 \rightarrow_{R_i} w_3 \cdots$$

for all $n \geq 1$, $w_n \in X_i^*$. By Lemma 3.1, for all $n \geq 1$, $w_n \in X_i^*$, there exist $(w_n, w_n) \in X^*$ such that $w_n = \varphi_i(w_n, w_n)$. Therefore, we have the following squence

$$w_1 = \varphi_i(w_1, w_1) \rightarrow_{R_i} w_2 = \varphi_i(w_2, w_2) \rightarrow_{R_i} w_3 = \varphi_i(w_3, w_3) \cdots$$

and

$$(w_1, w_1) \rightarrow_R (w_2, w_2) \rightarrow_R (w_3, w_3) \cdots$$

for all $n \geq 1$, $(w_n, w_n) \in X^*$. Since we suppose R is an FCRS on X , so R is Noetherian, so the squence $(w_1, w_1) \rightarrow_R (w_2, w_2) \rightarrow_R (w_3, w_3) \cdots$ and also $w_1 \rightarrow_{R_i} w_2 \rightarrow_{R_i} w_3 \cdots$ aren't infinite sequences. This a contradiction. As a result, R_i is Noetherian.

Let ρ be a congruence on a monoid M . If ρ is generated by a subset X of $M \times M$, then it is clear that ρ is also generated by X as a congruence on M . Therefore, if ρ is finitely generated as a monoid, then it is also finitely generated as a congruence.

Corollary 3.4. Let M be a monoid and ρ be a congruence on M such that ρ is finitely generated as a congruence on M . If ρ can be presented by an FCRS, then so can M/ρ .

Proof. Suppose ρ can be presented by an FCRS, then it follows from Theorem 3.3 that M can be presented by an FCRS. Also, ρ is finitely presented on any finite generating set such as $Y = \{(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_k, \beta_k)\}$. Let $\langle X|R \rangle$ and $\langle X_i|R_i \rangle$ be finite monoid presentations for ρ and M , respectively.

By the proof of Lemma 2.5 in (Ayık et al., 2005), M/ρ is defined by the presentation $\langle X_i|R_i \cup \{\alpha_1 = \beta_1, \alpha_2 = \beta_2, \dots, \alpha_k = \beta_k\} \rangle$, where $Y = \{(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_k, \beta_k)\}$ is a finite set included by the smallest congruence ρ . As φ_i is the i th projection from ρ to M and it is a surjective mapping, we take

$$Y = \{\varphi_i(\alpha_1 = \beta_1), \varphi_i(\alpha_2 = \beta_2), \dots, \varphi_i(\alpha_k = \beta_k)\}$$

Then $\langle X_i|R_i \cup \{\varphi_i(\alpha_1 = \beta_1), \varphi_i(\alpha_2 = \beta_2), \dots, \varphi_i(\alpha_k = \beta_k)\} \rangle$ is a finite presentation for M/ρ and by Theorem 3.3, $R_i \cup \{\varphi_i(\alpha_1 = \beta_1), \varphi_i(\alpha_2 = \beta_2), \dots, \varphi_i(\alpha_k = \beta_k)\}$ is an FCRS on X_i . As a result, M/ρ can be presented by an FCRS.

4. Conclusion

We study a monoid M , a congruence ρ on M , and a rewriting system R on a generating system X in this paper. First, we propose and prove that a necessary and sufficient condition for $(u, u) \rightarrow_R^* (v, v)$ for all $(u, u), (v, v) \in X^*$ is that, there exist $u, v \in X_i^* = \varphi_i(X)^*$ such that $u \rightarrow_{R_i}^* v$. Then we give an example. We show that if ρ can be presented by an FCRS, then so can M . As our final and main result, we prove that if ρ can be presented by an FCRS, then M/ρ can also be presented by an FCRS.

We sincerely hope that this study will make a valuable addition to the literature on semigroups, presentations, and rewriting systems.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Authors' contributions

Both authors contributed equally.

References

- Ayık G., Ayık H., Ünlü Y. Presentations for S and S/ρ from a given presentation ρ . *Semigroup Forum* 2005; 70: 146-149.
- Book RV., Otto F. *String-rewriting systems*. New York: Springer-Verlag; 1993.
- Çetinalp EK., Karpuz EG. Crossed product of infinite groups and complete rewriting systems. *Turkish Journal of Mathematics* 2021; 45(1): 410-422.
- Çalışkan B. On finiteness conditions for S , ρ and S/ρ . *International Journal of Pure and Applied Mathematics* 2010; 65(1): 1-9.
- Dehn M. Tiber unendliche diskontinuierliche gruppen. *Mathematische Annalen* 1911; 71: 116-144.
- Gray R., Malheiro A. Finite complete rewriting systems for regular semigroups. *Theoretical Computer Science* 2011; 412: 654-661.
- Howie JM. *Fundamentals of Semigroup Theory*. Oxford: Clarendon Press; 1995.
- Kuyucu F. Relations between ranks of certain semigroups. *Selçuk J. Appl. Math.* 2011; 12(1): 123-126.
- Otto F. Finite complete rewriting systems for the jantzen monoid and the greendlinger group. *Theoretical Computer Science* 1984; 32: 249-260.
- Özer B., Yüksek A. Finite complete rewriting systems for matrix semigroup presentations. *International Journal of Algebra* 2016; 10: 497-511.
- Pride SJ. Subgroups of finite index in groups with finite complete rewriting systems. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society* 2000; 43(1): 177-183.
- Sims CC. *Computation with finitely presentations groups*. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.
- Squier C., Otto F., Kobayashi Y. A finiteness condition for rewriting systems. *Theoretical Computer Science* 1994; 131: 271-294.
- Wang J. Finite complete rewriting systems and finite derivation type for small extensions of monoids. *Journal of Algebra* 1998; 204: 493-503.
- Wang J. Finite derivation type for semigroups and congruences, *Semigroup Forum*, 2007; 75: 388-392.
- Wong KB., Wong PC. On finite complete rewriting systems and large subsemigroups. *Journal of Algebra* 2010; 345: 242-256.

Akdeniz'de Deniz Akıntı Hızı ve Güç Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

Alper YILDIRIM^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2626-1666>

*Sorumlu yazar: alperyildirim@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.08.2022

Kabul tarihi: 26.11.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Deniz hidrodinamiği

Weibull olasılık fonksiyonu

Rayleigh olasılık fonksiyonu

Deniz akıntı hızı

Yenilenebilir enerji

Okyanus gücü

ÖZ

Dünyada enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Bu nedenle Dünya'da yeni enerji kaynak arayışları hızla artmaktadır. Deniz akıntılarında yüksek miktarda enerji sağlama potansiyeli, bu kaynağı cazip hale getirmiştir. Bu çalışmada, Akdeniz'de yer alan Silifke bölgesinde, deniz yüzeyinden 20 metre altındaki akıntıların enerji potansiyeli incelenmiştir. Meteorolojik şamandıra ölçümlerinden elde edilen deniz akıntısı verileri kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh modelleri kullanılarak istatistiksel analizler de yapılmıştır. Weibull olasılık dağılımı kullanmanın deniz akıntı hızı analizini kolaylaştırdığı, ayrıca güç yoğunluğunu yüksek doğrulukla tahmin ettiği görülmüştür. Son olarak, bu makale, bu istasyonun makul bir deniz akıntı gücü potansiyeline sahip olduğunu ve deniz akıntısı enerji türbinlerinin kurulumu için kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Bu istasyonda deniz akıntısı güç yoğunluğu değeri 20 m derinlikte 46,56 W/m² olarak bulunmuştur. Bu araştırmanın bulgularının, bu istasyondan deniz akıntısından elde edilecek enerji miktarını görmemize ve buranın deniz hidrodinamiğini anlamamıza yardımcı olması beklenmektedir.

Statistical Analysis of Sea Current Velocity and Power Potential in the Mediterranean

Research Article

Article History:

Received: 25.08.2022

Accepted: 26.11.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Marine hydrodynamics

Weibull probability function

Rayleigh probability function

Sea current velocity

Renewable energy

Ocean power

ABSTRACT

Energy resources in the world are depleting rapidly. For this reason, the search for new energy sources in the world is increasing rapidly. The potential to generate large amounts of energy from sea currents has made this source attractive. In this study, the energy potential of the currents 20 meters below the sea surface in the Silifke region in the Mediterranean was investigated. Sea current data obtained from meteorological buoy measurements were used. In addition, statistical analyzes were performed using Weibull and Rayleigh models in this study. It has been found that using the Weibull probability distribution facilitates the analysis of sea current velocity and also predicts the power density with high accuracy. Finally, this article has proven that this station has reasonable offshore power potential and can be used for the installation of sea current energy turbines. The sea current power density value at this station was found to be 46.56 W/m² at a depth of 20 m. It is expected that the findings of this research will help us to see the amount of energy that will be obtained from the sea current from this station and to help us understand the marine hydrodynamics of this station.

To Cite: Yıldırım A. Akdeniz'de Deniz Akıntı Hızı ve Güç Potansiyelinin İstatistiksel Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 726-737.

Giriş

Günümüzde enerji, insanlığın en önemli ihtiyaçlarından biri olmuştur. Fosil yakıtları, sınırlı enerji kaynağıdır ve artan enerji talebini karşılamakta zorlanacaktır (Arhan ve Bilgin 2022). Bu nedenle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) popüler hale gelmiştir. YEK'lerden elde edilen güç üretiminin, geleneksel güç kaynaklarından elde edilen güce kıyasla sürdürülebilir, daha temiz, çevre dostu ve uygun maliyetli olduğu düşünülmektedir (Bilgili ve ark., 2021). YEK'ler arasında okyanuslar, dünya yüzeyinin %70'inden fazlasını kapladığından dolayı, büyük, güvenli ve sürdürülebilir enerji kaynağıdır. Açık denizdeki yenilenebilir enerji kaynakları aracılığıyla okyanuslardan elde edilen enerji, enerji sektörlerinin karbondan arındırılmasına ve nakliye, soğutma ve suyun tuzdan arındırılması gibi mavi ekonomiyle ilgili diğer son kullanıcı uygulamalarına katkıda bulunabilir. Okyanus enerji kaynakları neredeyse %100 öngörülebilmekte ve tüm kıtalarda kullanılabilir. Hareketli deniz suyu ise akan havadan 832 kat daha yoğundur ve etkin enerji dönüşümü için koşullar oluşturur (Minesto, 2020). Bu enerji kaynağının dezavantajları arasında başlangıçtaki yüksek maliyet, yatırımın geri dönüşlerinin gerçekleşmesinin uzun sürmesi ve enerji elde etme teknolojisinin çok gelişmemiş olması gelmektedir (Kabir ve ark., 2015).

Okyanus enerjisi teknolojileri, tipik olarak kullandıkları enerji kaynağına göre sınıflandırılır. Coğrafyalarda en yaygın kullanılan teknolojiler, gelgit akımı ve dalga enerjisi dönüştürücüleridir. Tuzluluk, sıcaklıktaki farklılıklardan veya okyanus akıntılarını enerjinin elde edilmesi uzun vadede daha yaygın hale gelebilir. Okyanus enerjisi kaynakları, önemli bir YEK kaynağı olma potansiyeline sahiptir ve tahminler, 2050 yılına kadar küresel olarak 337 GW'a kadar kurulu kapasitenin mevcut olabileceğini göstermektedir (Bento ve ark., 2021).

Okyanus akıntıları rüzgâr, yerçekimi ve suyun sıcaklığı ve yoğunluğu arasındaki farklılıklardan dolayı okyanus sularının hareket etmesi sonucu oluşur. Bu akımlar, atmosferdeki rüzgârlar gibi, ekvator dan kutuplara büyük miktarda ısı aktarır ve bu nedenle kıyı bölgelerinin ikliminin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Okyanus akıntılarının deniz yaşamı üzerinde çok çeşitli etkileri vardır, yalnızca bitkileri ve hayvanları okyanus etrafında hareket ettirmekle kalmaz, aynı zamanda besinleri ve ısıyı yeniden dağıtır (Hays, 2017). Bununla birlikte, erozyona ve yığılmaya neden olurlar ve plajların ve okyanus suyu alma yapılarının kıyı morfolojisini değiştirirler (Neelamani ve Al-Osairi, 2019).

Açık denizde uzun vadeli ve geçici atmosferik ve oşinografik izleme; okyanusları, atmosferi ve bunların etkileşimlerini inceleyen bilim adamları için iyi bilinen konudur. Bu izleme, uzun vadeli açık deniz verileri, olası iklim değişiklikleri, hava olayları ve hava-deniz değişim süreçlerinin analizi için çok önemlidir. Gerçek zamanlı veriler, balıkçılık, doğal tehlike uyarıları, eğlence amaçlı tekne gezintisi ve kurtarma operasyonları gibi faaliyetler için deniz ortamıyla ilgilenen çeşitli kullanıcı grupları için çok önemlidir (Canepa ve ark., 2015). Genel olarak veriler sayısal oşinografik yeniden analizden veya uydu altimetrisinden alınabilir. Gemi, şamandıra veya yüksek frekanslı radar (YFR) ile ölçüm ayrıca uzun zaman serileri, okyanus akıntısı verilerinin kaynakları olabilir.

YFR, kıyı okyanuslarındaki yüzey akımlarını ölçmek için yüksek frekanslı radyo dalgaları kullanır. YFR, 200 km'ye kadar çalışma menziline ve 300 ila 1000 m arasında değişen uzaysal çözünürlüğe sahiptir (Mandal ve ark., 2018). Uydu ürünlerinin kullanımı, özellikle altimetrelere gibi tek noktalı enstrümanlar için, dünya çapında bir kapsama sahip, ancak zaman içinde süreksiz olan veriler sunar. Ayrıca, türetilmiş veri setinin genel kesinliğini belirlemek için uydu verileri doğrulanmalıdır (Freilich ve Dunbar, 1999; Mears ve ark., 2001). Gemiler, uygun veri toplama için geçerli bir destektir, ancak pahalıdır, kötü hava koşullarında çalışamazlar. Alternatif olarak, belirli bir bölgede veri almak için demirli şamandıralar kullanılmaktadır (Wagner ve ark., 2003).

Uydu ve sayısal modellemeden alınan veriler tam olarak güvenilir değildir. Bu nedenden dolayı 1970'lerden itibaren veri toplamak için şamandıra araştırmacılar tarafından kullanılmaya başlandı. Aynı zamanda, şamandırayı veri toplama ve güncel ölçüm sistemleri ile donatmak için işletmeler ile ortaklıklar kuruldu. Yıllar geçtikçe, şamandıra dış kullanıcıların da kullanımına sunuldu. Dalga şamandırası ile akıntı verilerin şu anda mevcut olmadığı çeşitli küresel bölgeler için, akıntı hızı veri seti oluşturulmuştur. Bu şamandıra aynı zamanda, sayısal modelleri kalibre etmek ve doğrulamak için ayrıca doğrudan açık deniz tasarımları için kullanılabilir (Canepa ve ark., 2015). Şamandıralar üzerinde yapılan çalışmalara bir örnek, merkezi İzlanda Denizi'nde meteorolojik şamandıra ölçümleri yapan İzlanda Meteoroloji Ofisi (IMO) tarafından 2007 ve 2009 yılları arasında gerçekleştirilmiştir (Petersen, 2017).

Uzun vadeli okyanus akıntısı hız dağılımları için çeşitli matematiksel modeller uygun kabul edilebilir. Bunlar arasında iki parametrelili Weibull ve Rayleigh modelleri bulunmaktadır. İki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılımı mevcut okyanus hızı için uygun olduğundan, üç parametrelili Weibull dağılımında okyanus akıntı hızını yansıtmamanın etkisini düşünmek ve araştırmak da pratik ilgi çekicidir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun başarılı bir şekilde uygulanması, dağılım parametrelerinin kabul edilebilir istatistiksel tahminlerine sahip olmaya bağlıdır (Albani ve Ibrahim, 2020). Literatürde bu konu ile ilgili çok az çalışma vardır. Örnek olarak, Weibull dağılımının küresel okyanuslar üzerindeki parametreleri, jeostrofik altimetri tabanlı hızlar kullanılarak tahmin edilmiştir (Chu, 2008). Ek olarak, Chu (2008) altı istasyondan alınan saatlik verileri kullanarak, Pasifik akıntı hızlarının Weibull parametrelerini analiz etmiştir. Kim ve ark. (2019) gerçek deniz akıntısı verileri için istatistiksel bir model kullanmışlardır. Önerilen modelin çok basit ve tatmin edici sonuçlar veren güvenilir bir yöntem olarak kabul edilebileceğini göstermişlerdir. Kabir ve ark. (2015), Kuzey Karolina kıyılarındaki okyanus akıntıları istatistiklerini incelemiş ve Weibull dağılımının mevcut hız güç yoğunluğu fonksiyonuna mükemmel bir şekilde uyduğunu keşfetmişlerdir. Barnier ve ark. (2020) büyük bir enerji santrali için gelgitin neden olduğu akış değişikliklerini tahmin edebilen ve yenilenebilir enerjiyi ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirebilen bir model önermiştir. Ashkenazy ve Gildor (2011), YFR radar ile elde edilen deniz yüzeyi akıntılarının olasılık yoğunluk fonksiyonunu belirlemişlerdir. Deniz yüzeyi akıntı hızlarının yoğunluğunun Weibull fonksiyon modeli ile tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada yapılanlar aşağıda dört madde madde halinde özetlenmiştir:

- a) Akdeniz'de yer alan Silifke gözlem istasyonunda denizin 20 m derinliğinde beş ay boyunca ölçülen ortalama saatlik deniz akıntı hızlarını incelemek.
- b) Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak ortalama saatlik deniz akıntı hızlarının frekans dağılımlarını modellemek.
- c) Deniz akıntı hızı olasılık dağılımlarını, ortalama deniz akıntı hızını, deniz akıntı güç potansiyelini ve standart sapmaları belirlemek.
- d) Türkiye, son on yılda yenilenebilir enerjide (özellikle rüzgâr, güneş ve jeotermal) etkileyici bir büyüme yaşadı. Fakat İstanbul Boğazı ile Çanakkale Boğazı arasında yer alan önemli bir iç deniz olan Marmara Denizi de dâhil olmak üzere üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye'de denizden enerji elde edilememektedir. Türkiye'deki denizlerin sahip olduğu enerji miktarı hakkında çok az araştırma yapılmıştır. Bu anlamda bu çalışma, potansiyel yatırımcılara gerekli bilgileri sağlayabilir. Diğer alternatif enerji kaynaklarına ek olarak, önümüzdeki yıllarda Türkiye'nin enerji matrisini genişletmenin bir yolu olarak deniz enerjisi kaynaklarını kullanmayı öneriyoruz.

Materyal ve Metot

İstatistiksel Değişkenler ve Olasılık Yoğunluğu

Ortalama deniz akıntı hızı (μ) basitçe sayısal bir ortalamadır ve şu şekilde hesaplanır;

$$\mu = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

Standart sapma şu şekilde ifade edilir;

$$\sigma = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \mu)^2\right)^{1/2} \quad (2)$$

Zaman serisi formatında hazırlanan deniz akıntı hızı (v) verisini olasılık dağılım formatına çevirerek istatistiksel analiz yapmak daha kolay ve anlaşılır görünmektedir. Bu şekilde, deniz akıntısı hız olasılık dağılımları, deniz akıntısı enerji analizleri için birincil araç olarak kullanılabilir. Her hız sınıfı için olasılık yoğunluğu şu şekilde tanımlanır;

$$f(v_i) = f_i / \sum_{i=1}^n f_i \quad (3)$$

Burada N , tanımlanan dönem boyunca zamanı gösterir ve aynı büyüklükteki deniz akıntısı hızının veya frekansının tekrarlanabilirliği f_i ile sembolize edilir.

Rastgele bir değişken kesikli ise, olasılık dağılımı $f(v)$ olan bu değişkenin ortalaması veya beklenen değeri ve varyansı sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\mu = E(V) = \sum_v v f(v) \quad (4)$$

Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı, deniz akıntısı hız yoğunluğunu tanımlamanın bir yolu olarak kullanılabilir. Weibull olasılık dağılımı Şu Şekilde tanımlanır: (Bilgili ve Sahin, 2009; Vılchez ve ark., 2017);

$$f_W(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

Kümülatif Weibull olasılık dağılımı Şu Şekilde ifade edilir;

$$F_W(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (6)$$

burada v deniz akıntı hızıdır. c ve k parametreleri ölçek ve Şekil katsayıları olarak adlandırılır ve zaman serisi formatında düzenlenmiş deniz akıntı hızı verilerinden elde edilir. Şekil faktörü Şu Şekilde hesaplanır:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad (1 \leq k \leq 10) \quad (7)$$

Daha sonra, ölçek parametre denklemi aşağıdaki gibi verilir:

$$c = \left(\frac{v_m}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}\right) \quad (8)$$

Rayleigh Dağılımı

Weibull modelinin özel bir durumu Rayleigh fonksiyonu olarak adlandırılır. Weibull fonksiyonunun c Şekil faktörünün 2'ye eşit olduğu varsayılarak Rayleigh fonksiyonu elde edilir. Rayleigh ve kümülatif yoğunluk fonksiyonları aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Suzuki ve ark., 2009):

$$f_R(v) = \frac{\pi v}{2\mu^2} \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{\mu}\right)^2\right] \quad (9)$$

$$F_R(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{\mu}\right)^2\right] \quad (10)$$

Deniz Akıntı Hızının Güç Potansiyeli

Türbin tarafından süpürülen bir alan boyunca v hızında akan bir deniz akıntısının gücü. A , hızının küpü olarak yükselir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (11)$$

Öte yandan, birim alan başına türbinin mevcut güç yoğunluğu, aşağıdaki gibi herhangi bir olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanabilir:

$$P(v) = \sum_v \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) \quad (12)$$

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan deniz akıntısı verileri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi, bu çalışmadaki ölçümler Akdeniz'de yer alan Silifke bölgesinde yapılmıştır. Türkiye çevresindeki en büyük deniz olan Akdeniz'in kapladığı alan 2.500.000 km²'dir. Cebelitarık Boğazı ile Atlas Okyanusu'na, Süveyş Kanalı ile Hint Okyanusu'na bağlanmıştır. Ortalama derinliği 1400, en derin yeri 4400 metredir. Mersin ve İskenderun körfezleri dışında kıta sahanlığı çok dardır.



Şekil 1. Çalışma alanı, ölçüm istasyonunun konumu ve bölge haritası

Silifke bölgesinde deniz akıntılarının hızları ve yönleri şamandıra ile ölçülmüştür. Cihaz özelliği ile ilgili bilgiler Tablo 1'de ve ölçüm istasyonları için bilgiler de Tablo 2'de verilmiştir. Saatlik deniz akıntı hızları ve yönleriyle ilgili bir zaman serisi veren akıntı ölçümleri, 1 saatlik bir zaman aralığı ile gerçekleştirilmiştir. Deniz yüzeyi seviyesinin 20 m derinliğinden elde edilen ölçümler 1 Mayıs 2019 ile 30 Eylül 2019 tarihleri arasında 5 aylık süreyi kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu verileri, saatlik deniz akıntı hızlarından ve bunlara karşılık gelen akıntı yönlerinden oluşmaktadır.

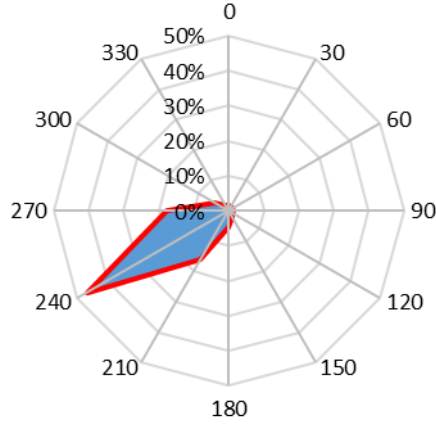
Table 1. Cihaz özelliği hakkında bilgi

| Ölçüm istasyonu ve cihaz özelliği | Bilgi ve özellikler |
|-----------------------------------|---------------------|
| Ölçüm aleti | ODAS04TR(MAS) |
| Yükseklik | 4.51 m |
| Kule tipi | 1.80 m |
| Güç kaynağı | Güneş nerjisi |
| Bağlantı | GSM / GPRS |

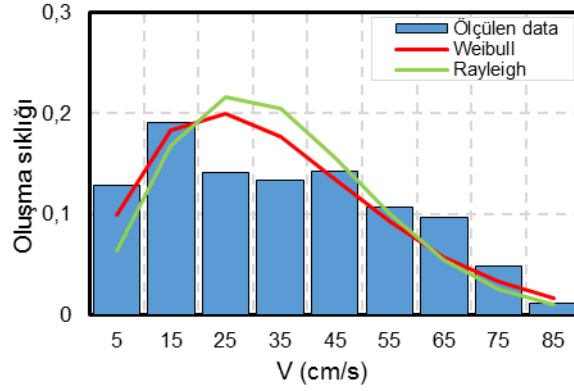
Table 2. Ölçüm istasyonları hakkında bilgi

| İstasyon ismi | İstasyon bölgesi | İstasyon enlemi | İstasyon boylamı |
|---------------|------------------|-----------------|------------------|
| Silifke | Akdeniz | 36°04'50" N | 33°49'50" E |

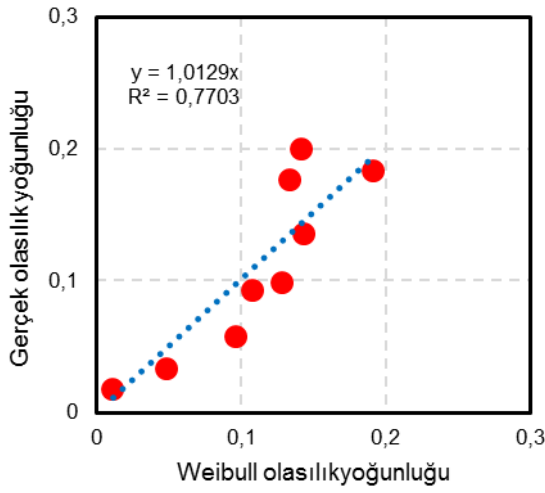
Türbinin uygun konumunun belirlenebilmesi için hâkim mevcut deniz akıntı yönlerini ve hızlarını bulmak çok önemlidir. Şekil 2a'da Silifke istasyonu için 20 metre derinlikteki akıntı hızının hâkim yönünün 240° olduğu gözükmemektedir. Weibull hem de Rayleigh olasılık modelinin uygulamasında ilk olarak her iki modelin ölçek c ve şekil k parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak tüm derinlikler için deniz akıntısı frekansı veya olasılık dağılımları elde edilmiştir. Daha sonra Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak deniz akıntısı frekansı veya olasılık dağılımları elde edilmiştir. Şekil 2b, Weibull veya Rayleigh modelleri için deniz akıntısı hız frekans dağılımı ile ölçülen dağılım arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Ek olarak, bu şekil, bir deniz akıntısı veri olasılık dağılımını sağladığını göstermesi için Weibull ve Rayleigh fonksiyonları ile beş aylık gerçek frekans dağılımının histogramını ortaya koymaktadır. Şekilde gösterildiği gibi, Rayleigh dağılımının aksine Weibull dağılımı zaman serisi verilerine daha doğru şekilde uymaktadır. Şekil 2c, deniz akıntı hızlarının olasılık yoğunluk verileri için ölçülen ve Weibull modeli (teorik) değerlerinin regresyon grafiklerini sunar. Y eksenini ölçülen olasılık yoğunluk değerlerini gösterirken X eksenini Weibull olasılık yoğunluk değerlerine karşılık gelir. Şekil 2c'deki grafik, ölçülen ve teorik değerlerin dağılımını göstermekte ve model sonuçlarının gerçek verilere ne kadar doğru bir şekilde uyduğunu anlamayı mümkün kılmaktadır. Ancak, Şekil 2b'de açıkça görüldüğü gibi Weibull olasılık dağılımının 25 ve 35 cm/s akıntı hızlarında gerçek değerlere göre sapması fazladır. Bu sebepten dolayı R^2 değeri 0,77 olmuştur. Weibull olasılık dağılım modeline ek olarak, ölçülen olasılık yoğunluk değerlerini başka bir olasılık fonksiyonu olan Rayleigh dağılımı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, hızın ölçülen ve teorik kümülatif dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Tüm teorik modeller için deniz akıntı hızlarının kümülatif olasılık dağılımları Şekil 2d'de sunulmuştur. Burada elde edilen sonuçlara göre, Weibull dağılım modeli, seçilen istasyonlardaki gerçek deniz akıntı hızına en uygun görülmektedir. Bu bağlamda Weibull modeli için olasılık yoğunluğu ve kümülatif olasılık yoğunluk analizi yapılmaktadır.



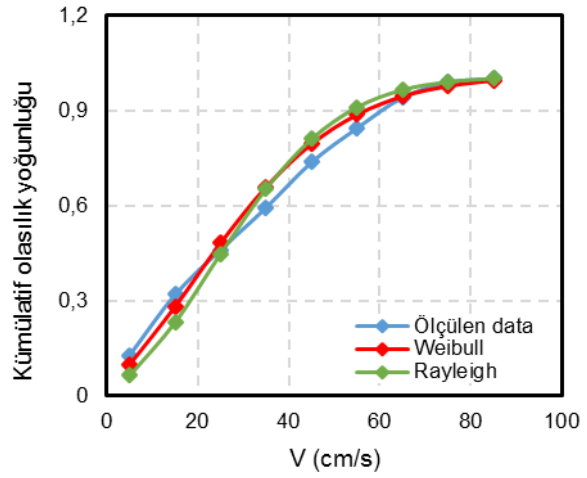
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. Deniz yüzeyi seviyesinin 20 m altındaki istasyonun akıntı hızı özellikleri (a); Deniz akıntı yönü frekans dağılımları (b); Olasılık dağılımının ölçülen ve teorik (Weibull) değerlerinin karşılaştırılması (c); Olasılık yoğunluk verileri için ölçülen ve Weibull model değerlerinin regresyon grafikleri (d); Kümülatif olasılık dağılımları

Deniz akıntı hızının ölçülen ve teorik olasılık fonksiyonları kullanılarak bulunan deniz akıntısı değişkeninin ortalama veya beklenen değeri ve standart sapması ortaya çıkarılmıştır. Tablo 3'te görüldüğü gibi özellikle Weibull olasılık dağılımı için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ölçülen yıllık ortalama deniz akıntısı hızı, deniz yüzeyi seviyesinin 20 m altında ortalama 0,3487 m/s olarak bulunmuştur. Ayrıca, deniz akıntı hızının ölçülen yıllık standart sapması 0,2132 m/s olarak bulunmuştur. Yine Tablo 3'te görüldüğü gibi R değeri Weibull model için 0,870, Rayleigh modeli içinse 0,793 bulunmuştur. Weibull olasılık fonksiyon modelinin Rayleigh olasılık fonksiyon modelinden daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Bu tabloda belirtildiği gibi ortalama deniz akıntı gücü değeri 46,56 W/m² hesaplanmıştır.

Tablo 3. Deniz akıntısı için ortalama hız, standart sapma, R değeri ve güç hesaplamaları

| Parametre | İstasyon | Derinlik (m) | Ölçülen data | Weibull model | Weibull model sapma oranı | Rayleigh model | Rayleigh model sapma oranı |
|-----------------------|----------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|----------------|----------------------------|
| μ (m/s) | Silifke | 20 | 0,3487 | 0,328 | %5,9 | 0,3431 | %1,6 |
| σ (m/s) | Silifke | 20 | 0,2132 | 0,1943 | %8,8 | 0,1779 | %16,5 |
| R | Silifke | 20 | - | 0,870 | | 0,793 | |
| P (W/m ²) | Silifke | 20 | 46,56 | 39,65 | %14,8 | 37,83 | %18,7 |

Sonuç

Bu çalışmada, Akdeniz'in Silifke bölgesinde, deniz yüzeyinden 20 m derinlikte, deniz akıntı hızları ve yönleri beş ay boyunca ölçülmüştür. Veriler, deniz akıntı hızının olasılık dağılımını ve ölçülen deniz akıntısı hızının ortalama ve standart sapması gibi bazı istatistiksel parametreleri anlamak için analiz edilmiştir. Deniz akıntısı hızının ölçülen olasılığı, hangi dağılımın sahada ölçülen hıza en uygun olduğunu bulmak için Weibull ve Rayleigh dağılım gibi iki farklı teorik olasılık dağılım fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır. Mevcut çalışmanın ana sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ✓ Deniz yüzeyinden 20 m derinlikte yıllık ortalama deniz akıntı hızı 0,3487 m/s olarak ölçülmüştür. Ayrıca P ortalama deniz akıntı gücü değeri 46,56 W/m² hesaplanmıştır.
- ✓ Teorik olasılık dağılımı analizi için, Weibull ve Rayleigh dağılım olmak üzere iki olasılık yoğunluk dağılımı dikkate alınmıştır. Genel olarak, Weibull olasılık yoğunluk modeli sonuçları, Rayleigh olasılık yoğunluk modellerine kıyasla gözlemlenen verilerle daha iyi eşleşmiştir.
- ✓ Bu çalışmada Silifke istasyonunda deniz akıntısının sürekliliği, mevcudiyeti, davranışı ve olasılığı gibi birçok temel özellik belirlenmiştir. Bu anlamda elde edilen bulguların gelecekte hayata geçirilecek türbinlerin uygun konumunu ve gücünü tahmin etmenin yolunu açabileceği beklenmektedir.

Bilindiği üzere Türkiye, sahip olduğu enerji ve elektrik matrisi dikkate alındığında çok çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Ancak denizlerinde henüz keşfedilmemiş çok büyük bir enerji potansiyeli vardır. Türk nüfusunun önemli bir bölümünün kıyı bölgelerinin yakınında yaşadığı gerçeği göz önüne alındığında, bu durum daha da ironiktir, çünkü bir kaç çalışma dışında, deniz enerjisinin kullanımı ve deniz enerjisinin enerjiye dönüştürülmesi konusunda neredeyse derinlemesine araştırma yapılmamıştır.

Mevcut sonuçlar, diğer alternatiflere ek olarak deniz enerjisi kaynaklarının, önümüzdeki on yıllarda Türk enerji matrisini genişletmenin bir yolu olarak kesinlikle kullanılabilceğini kuvvetle göstermektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Semboller

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m^3)

σ : Standart sapma (m/s)

μ : Ortalama deniz akıntı hızı (m/s)

c : Weibull ölçeği parametresi (m/s)

$f(v_i)$: Olasılık yoğunluk fonksiyonu

f_i : Deniz akıntısı frekansı

$f_W(v)$: Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu

$f_R(v)$: Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu

$F_R(v)$: Rayleigh kümülatif dağılım işlevi

$F_W(v)$: Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu

k : Weibull şekli parametresi

n : Akıntı hızı sınıflarının sayısı

N : Düşünülen zaman aralığındaki saat sayısı

$P(v)$: Ortalama güç yoğunluğu (W/m^2)

v : Deniz akıntı hızı (m/s)

Kaynakça

Albani A., Ibrahim MZ. The probability density distribution for ocean current speed at selected sites Malaysia. *Journal of Critical Reviews* 2020; 7: 5224–5229

Arhan İ., Bilgin Z. Yenilenebilir sistemlerde maksimum güç noktası takibi ve enerji yönetimiyle enerji verimliliği. *OKU Journal of the Institute of Science and Technology* 2022; 5: 75–91.

Ashkenazy Y., Gildor H. On the probability and spatial distribution of ocean surface currents. *The Journal of Physical Oceanography* 2011; 41: 2295–2306

Barnier B., Domina A., Gulev S., Molines JM., Maitre T., Penduff T., Sommer JL., Brasseur P., Brodeau L., Colombo P. Modelling the impact of flow-driven turbine power plants on great wind-driven ocean currents and the assessment of their energy potential. *Nature Energy* 2020; 5: 240–249.

Bento PMR., Pombo JAN., Mendes RPG., Calado MRA., Mariano SJPS. Ocean wave energy forecasting using optimised deep learning neural networks. *Ocean Engineering* 2021; 219:

108372.

- Bilgili M., Sahin B. Investigation of wind energy density in the Southern and Southwestern Region of Turkey. *Journal of Energy Engineering* 2009; 135: 12–20.
- Bilgili M., Yildirim A., Ozbek A., Celebi K., Ekinçi F. Long short-term memory (LSTM) neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) approach in modeling renewable electricity generation forecasting. *International Journal of Green Energy* 2021; 18: 578–594
- Canepa E., Pensieri S., Bozzano R., Faimali M., Traverso P., Cavaleri L. The ODAS Italia 1 buoy: More than forty years of activity in the Ligurian Sea. *Progress in Oceanography* 2015; 135: 48–63.
- Chu PC. Weibull distribution for the global surface current speeds obtained from satellite altimetry. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* 2008; 3: 11–15.
- Freilich MH., Dunbar RS. The accuracy of the NSCAT 1 vector winds: Comparisons with National Data Buoy Center buoys. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 1999; 104: 11231–11246.
- Hays GC. Ocean currents and marine life. *Current Biology* 2017; 27: R470–R473.
- Kabir A., Lemongo-Tchamba I., Fernandez A. An assessment of available ocean current hydrokinetic energy near the North Carolina shore. *Renewable Energy* 2015; 80: 301–307
- Kim DK., Wong EWC., Lee EB., Yu SY., Kim YT. A method for the empirical formulation of current profile. *Ships and Offshore Structures* 2019; 14: 176–192.
- Mandal S., Sil S., Gangopadhyay A., Murty T., Swain D. On extracting high-frequency tidal variability from HF radar data in the northwestern Bay of Bengal. *Journal of Operational Oceanography* 2018; 11: 65–81.
- Mears CA., Smith DK., Wentz FJ. Comparison of special sensor microwave imager and buoy-measured wind speeds from 1987 to 1997. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 2001; 106: 11719–11729.
- Minesto. Ocean energy, <https://minesto.com/about-us> (2020, accessed 12 December 2020).
- Neelamani S., Al-Osairi Y. Probability distribution, statistical characteristics, and power potential of seawater velocity around boubyan island in Kuwait. *Journal of Engineering Research* 2019; 7: 143–166.
- Petersen GN. Meteorological buoy measurements in the Iceland Sea, 2007-2009. *Earth System Science Data* 2017; 9: 779–789.
- Suzuki T., Mori N., Cox DT. Statistical modeling of near-bed pressure gradients measured on a natural beach. *Coastal Engineering Journal* 2009; 51: 101–121.
- Vílchez M., Clavero M., Baquerizo A., Losada MA. An Approximation to the statistical characteristics of wind waves in front and from the toe of the structure to the toe of the crown of Nonovertopped Breakwaters. *Coastal Engineering Journal*; 59: 3, 1750012-1-1750012-38

Wagner V., Hageberg AA., Michelsen C. EGOS-European group on ocean stations providing real time buoy observations from data sparse areas of the North Atlantic Ocean and adjacent seas. Elsevier Oceanography Series 2003; 69: 340–344.

Asteraceae Familyasına Ait Beş Türün Karyolojik Yönden İncelenmesi

Güliden DOĞAN^{1*}

¹Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı, Elazığ

¹<https://orcid.org/0000-0002-7668-3368>

*Sorumlu yazar: gdogan@firat.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.08.2022

Kabul tarihi:08.11.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kromozom sayısı

Kromozom morfolojisi

Karyotip analizi

Asteraceae

ÖZ

Asteraceae familyası hem dünyada hem de ülkemizde geniş cins ve tür zenginliğine sahip bitki familyaları arasında yer almaktadır. Bu öneme binaen bu büyük ve önemli aileye ait beş farklı cinsten beş farklı türün (*Pulicaria vulgaris* (L.) Gaertner, *Picris strigosa* Bieb., *Cichorium intybus* L., *Lactuca viminea* (L.) J. Presl & C. Presl ve *Chondrilla juncea* L.) Feulgen boyama tekniği kullanılarak kromozom sayımı ve detaylı karyotip analizleri yapılmıştır. Bu araştırma sonuçlarına göre; *Cichorium intybus*, *Pulicaria vulgaris* ve *Lactuca viminea* türleri $n=9$, *Picris strigosa* ise $n=5$ somatik kromozom seti içermektedir ve diploittir, *Chondrilla juncea* türü ise $n=5$ kromozom seti içermektedir ve triploid olarak tespit edilmiştir.

Karyological Investigation of Five Species of the Asteraceae Family

Research Article

Article History:

Received: 15.08.2022

Accepted: 08.11.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Chromosome number

Chromosome morphology

Karyotype analysis

Asteraceae

ABSTRACT

The Asteraceae family is among the plant families with a wide genus and species richness both in the world and in our country. Due to this importance, chromosome counting and detailed karyotype analyzes of five different species from five different genera (*Pulicaria vulgaris* (L.) Gaertner, *Picris strigosa* Bieb., *Cichorium intybus* L., *Lactuca viminea* (L.) J. Presl & C. Presl ve *Chondrilla juncea* L.) belonging to this large and important family were performed using the Feulgen staining technique. According to the results of this research; *Cichorium intybus*, *Pulicaria vulgaris* and *Lactuca viminea* species contain $n=9$, *Picris strigosa* contain $n=5$ somatic chromosome sets and are diploid, *Chondrilla juncea* species, on the other hand, contains $n=5$ chromosome sets and was determined as triploid.

To Cite: Doğan G. Asteraceae Familyasına Ait Beş Türün Karyolojik Yönden İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 738-748.

1. Giriş

Ülkemiz coğrafi konumu, jeolojik ve jeomorfolojik çeşitlilik, iklimik ve edafik faktör çeşitliliği ve üç farklı fitocoğrafik bölgenin birleştiği yerde olması gibi nedenlerle oldukça zengin bir flora ile çok değişik vejetasyon tiplerine sahiptir. Ayrıca tohumlu bitkiler bakımından da oldukça zengin sayılabilecek bir konumdadır. Tohumlu bitki türü sayısı 9200 civarında olup, tür altı taksonlarla birlikte bu sayı 11000'e kadar ulaşmaktadır (Güner ve ark., 2012).

Asteraceae familyası üyeleri bir, iki veya çok yıllık, otsu, çalimsı, tırmanıcı veya nadiren ağaçsı, çok geniş habitat tiplerinde bulunabilen ve Antarktika dışında hemen hemen her yerde rastlanabilen bitkilerdir. Dünyada, Asteraceae familyasının 23.000 türü olduğu bildirilmektedir ki bu sayı

Angiospermilerin % 10'una denk gelmektedir (Güner ve ark., 2000). Türkiye Florası'nda ise Asteraceae familyası 136 cins ve 1195 tür ile temsil edilmektedir (Raven ve Axelrod, 1974). Buna göre hem tür hem de cins bakımından ülkemizin en büyük familyasıdır. En çok endemik tür sayısı yine Asteraceae'de bulunmaktadır. Toplam 446 endemik tür içeren bu familyanın endemizm oranı % 37,3'tür (Davis, 1975).

Ülkemizdeki *Cichorium* cinsinin 5 türünden biri olan *Cichorium intybus* türü genellikle halk arasında "Hindibağ" olarak bilinen, 1 metreye kadar boylanabilen çok yıllık otsu bir bitkidir. Anadolu'nun her yerinde ekilmemiş tarlalarda, yol kenarlarında ve bayır sırtlarında yabancı olarak yetişir. Bu bitkinin hemen hemen tüm parçaları, tıbbi açıdan önemli bir dizi bileşik içerir ve ekonomik olarak değerli kabul edilir. Çok sayıda araştırmacı bu bitkinin anti-hepatotoksik, antiülserojenik ve anti-inflamatuvar etkilerin yanı sıra iştah arttırıcı, sindirim, karaciğer toniği, kardiyotonic, idrar söktürücü ve tonik özellikleri olduğunu iddia etmiştir (Velayutham ve ark., 2006). Bitki ayrıca AIDS, kanser, diyabet, iktidarsızlık, uykusuzluk, splenitis ve taşikardi tedavisi için kullanılmıştır (Duke, 1983).

Pulicaria Gaertn. cinsi dünyada yaklaşık 149 takson ile temsil edilir. Cins üyelerinden *Pulicaria vulgaris* türü ülkemizde "Ak Yaraotu" olarak bilinir, 40 cm ye kadar boylanabilen, dik gövdeli, yukarı doğru çok dallı, seyrek tüylü bir bitki olup, kapitulası yarım küre biçiminde ve çok çiçeklidir. *Pulicaria* türleri geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; bronşit, soğuk algınlığı ve iltihaplı yaralar için, şeker hastalığı, ayak bileği burkulmaları, baş ağrıları ve şişkin kolik için, iltihap önleyici, kas ve iskelet hastalıkları, cilt hastalıkları ve karın ağrısı için kullanımı yaygındır (Özdemir Nath ve ark., 2021).

Picris cinsine ait *P. strigosa* türü ise halk arasında "Acışiro" olarak bilinir, iki veya çok yıllık dik gövdeli, 30-75 cm boylarında, genellikle step alanlarda yetişen bir türdür (Davis, 1975). Dünya üzerinde *Picris* cinsi üyeleri çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bitkilerin daha çok doğal lipit antioksidan kaynağı olarak kullanımı yaygındır (Milovanoviç, 2002). *Lactuca viminea* 2 yıllık, 30-130 cm'ye kadar boylanabilen, sarı çiçekli bir bitkidir. "Yabancı Kırmızı Salata" olarak da bilinir. Orta ve yüksek rakımlı çayırlar, kültür yapılan alanlar, kayalık, taşlık ve çakıllı alanlar ile yol kenarlarında yetişir. Tarlalarda yabancı ot grubunda yer alır (Ekim, 2012).

Ülkemizde "Karakavuk" olarak bilinen *Chondrilla juncea* türü, Avrupa, Asya ve Kuzey Afrika'da doğal olarak yetişir. Dünyanın diğer ılıman bölgelerine de yayılmış istilacı bir türdür. Sarı renkte çiçeklere sahip, 1 metreye kadar boylanabilen, mumsu görünümlü iki veya çok yıllık otsu bir bitkidir. Bitkinin yaprakları ve genç sürgünleri çiğ veya haşlanmış olarak salatalarda kullanılır, tıbbi anlamda güçlü bir antioksidan aktiviteye sahiptir. Kökünden elde edilen lateksten sakız yapılır ve bu sakız mide rahatsızlıklarına iyi gelir (Altundağ, 2009).

Sentromer, hücre bölünmesi esnasında kinetokor aracılığıyla mikrotübüllerin bağlanma bölgesi olarak işlev görerek kromozomların yeni hücrelere eşit dağılımını sağlamaktadır. Klasik sitogenetik çalışmalar açısından sentromer, kromozom üzerindeki birincil (primer) boğum olarak tanımlanmaktadır (Henikoff ve ark., 2001). Klasik sitogenetik, moleküler sitogenetik, biyokimyasal ve

genetik anlamda sentromer her ne kadar farklı tanımlamalarla ifade edilsede, bu durum sentromerin yapısal önemini değiştirmemektedir. Tüm ökaryotik organizmalarda korunmuş olması sebebiyle sentromer, kromozomların tanımlanmasında ve karyotip analizlerinde oldukça irdelenen kompleks bir yapıdır (Yıldız ve ark., 2021). Karyotipler, biyosistematiğe önemli ayırt edici özelliklerdir. Kromozom sayısı, yapısı ve davranışını içeren karyotip özellikleri, tür, cins ve hatta aile düzeyinde biyosistematiğe sınıflandırma için taksonomik kanıt olarak kullanılabilir. Ayrıca, karyotipte, örneğin kromozom sayısında, kromozom kolları arasındaki büyüklük ve oran farklılıkları ve uydu bölgelerinin konumu arasındaki farkın sitolojik veri kaynağı olduğu kanıtlanmış olup morfoloji, anatomi ve palinoloji gibi diğer taksonomik çalışmalara tamamlayıcı bir araç olarak kabul edilmektedir (Oda ve Oran, 2007).

Bu bağlamda bu çalışmada, Asteraceae familyasına ait 5 farklı türün (*Cichorium intybus*, *Pulicaria vulgaris*, *Picris strigosa*, *Lactuca viminea* ve *Chondrilla juncea*) karyolojik yapısının belirlenmesi ve detaylı bir şekilde ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan bitkiler, B7 karesinde yer alan Elazığ ilinin farklı lokalitelerinden, 2016-2017 yılları arasında toplanmıştır (Tablo 1). Bitki materyalleri doğal habitatlarından çiçekli ve meyveli dönemlerde alınmıştır. Örnekler herbaryum materyali haline getirilerek Fırat Üniversitesi Herbaryumu'nda muhafaza edilmiştir. Örneklerin teşhisi, Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, 1975) adlı eserin 5. cildi kullanılarak stereo mikroskop altında morfolojik karakterler için cetvel, mikromorfolojik karakterler için milimetrik cetvel kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Çalışılan türler ve lokaliteleri

| Tür | İl | Lokalite |
|---------------------------|------------|---------------------------------------|
| <i>Cichorium intybus</i> | B7: Elazığ | Cip, Harmantepe Köyü, Orman kenarı |
| <i>Picris strigosa</i> | B7: Elazığ | Sivrice, Gözeli Köyü, Yol kenarı |
| <i>Pulicaria vulgaris</i> | B7: Elazığ | Baskil, Kürşatlar mevki, tarla kenarı |
| <i>Lactuca viminea</i> | B7: Elazığ | Harput, Buzluk Mağarası civarı |
| <i>Chondrilla juncea</i> | B7: Elazığ | Fırat Üniversitesi Kampüsü içi |

Çimlendirilen tohumlardan kök uzunlukları 1–2 cm boyuna ulaşan kökler kesilip paradiklorbenzen içerisinde oda sıcaklığında 4 saat bekletilerek ön muamele işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra kök uçları asetik-alkol (1:3) içerisine alınıp +4 °C'de buzdolabında 24 saat bekletilerek fikse edilmiştir. Süre sonunda kök uçları 1N HCl içerisinde etüvde 60 °C'de 1-2 dakika hidrolizi yapılmıştır. Hidrolizden çıkarılan kök uçları oda sıcaklığında karanlık bir ortamda feulgen boyası ile 1 saat boyanmıştır. Daha sonra 2–3 defa musluk suyu ile yıkanmıştır. Preparasyon için, büyüme meristemi kısmı lam üzerine damlatılan bir damla % 45'lik asetik asit içerisinde keskin bir jilet yardımıyla parçalanarak lamel kapatılmıştır (Elçi, 1982). En iyi yedi somatik hücrenin fotoğrafları Olympus B×51

mikroskopuna (X100) bağlı Olympus dijital fotoğraf makinası ile çekilmiştir. Karyolojik analizler için kromozomların uzun ve kısa kolları İdeoKar karyotip analiz programı ile ölçülmüştür. Ölçümler yapıldıktan sonra belli bir sıraya konulmuş olan kromozomların, bilgisayarda Microsoft Excel programı kullanılarak ideogramları çizilmiştir. Bu ideogramlar üzerinde sentromer yerleri de gösterilmiştir. Sentromerin yerinin tespitinde Levan ve ark.,(1964)'nin adlandırma sistemi kullanılmıştır (Levan ve ark., 1964). Çalışılan türlerin kromozomlarının metafazdaki görünümünün fotoğrafları çekilerek, kromozomların; uzun kolu, kısa kolu, toplam uzunluğu, kol oranı, nisbi boyu ve sentromer durumu belirlenerek, ideogramları da çizilmiştir.

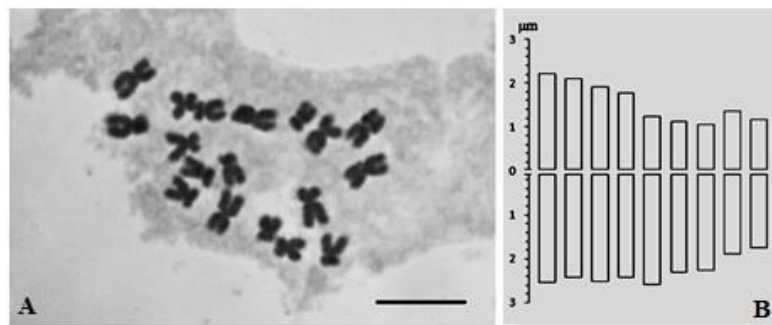
3. Bulgular ve Tartışma

Her türdeki 7 metafaz hücresinden; kromozom sayısı, kromozom uzunluk aralığı, haploid kromozom uzunluğu, kol oranı, nisbi boy ve karyotip formülü belirlenerek tablolar halinde verilmiştir. Metafaz kromozomlar ve idiogramlar her tür için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Cichorium intybus türünde somatik kromozom sayısı $2n=2x=18$ (Şekil 1A), karyotip formülü $6m+3sm$ olarak bulunmuştur. I, II, III, IV, VIII ve IX numaralı kromozomların median, V, VI ve VII numaralı kromozomların submedian olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun $2,92-4,74 \mu m$, haploid kromozom uzunluğunun $34,60 \mu m$, kol oranının $1,14-2,06 \mu m$, sentromer indeksinin $0,31-0,46$, nisbi boyun ise $8,44-13,68$ aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 1B'de gösterilmiştir.

Tablo 2. *C. intybus* türünün kromozomlarının uzunluğu, uzun kolu, kısa kolu, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy ve sentromer durumu.

| Kromozom No | Toplam Uzunluk (μm) | Uzun Kol (μm) | Kısa Kol (μm) | Kol Oranı | Sentromer İndeksi | Nisbi Boy (%) | Sentromer Durumu |
|-------------|----------------------------|----------------------|----------------------|-----------|-------------------|---------------|------------------|
| 1 | 4,74 | 2,53 | 2,20 | 1,15 | 0,46 | 13,68 | m |
| 2 | 4,52 | 2,41 | 2,10 | 1,14 | 0,46 | 13,06 | m |
| 3 | 4,42 | 2,51 | 1,91 | 1,31 | 0,43 | 12,78 | m |
| 4 | 4,19 | 2,41 | 1,77 | 1,36 | 0,42 | 12,10 | m |
| 5 | 3,82 | 2,57 | 1,24 | 2,06 | 0,32 | 11,03 | sm |
| 6 | 3,43 | 2,30 | 1,13 | 2,03 | 0,32 | 9,90 | sm |
| 7 | 3,31 | 2,26 | 1,05 | 2,14 | 0,31 | 9,57 | sm |
| 8 | 3,25 | 1,89 | 1,36 | 1,38 | 0,41 | 9,40 | m |
| 9 | 2,92 | 1,75 | 1,17 | 1,50 | 0,40 | 8,44 | m |

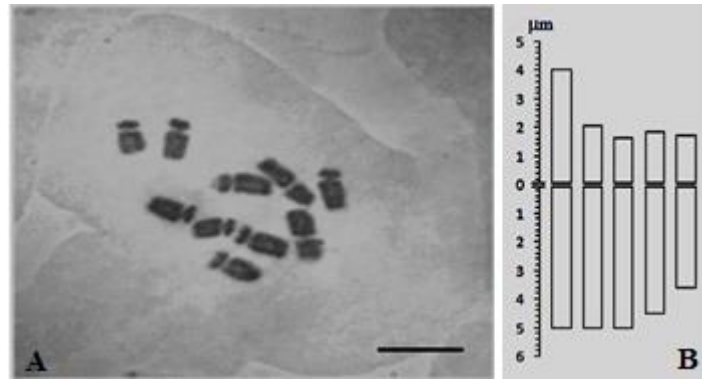


Şekil 1. *C. intybus* türünün **A.** Metafaz kromozom görünümü (Skala bar: $10 \mu m$) **B.** Haploid ideogramı

Picris strigosa türünde somatik kromozom sayısı $2n=2x=10$ (Şekil 2A), karyotip formülü $m+3sm+st$ olarak bulunmuştur. I numaralı kromozomun median, II, IV ve V numaralı kromozomların submedian, III numaralı kromozomun ise subterminal olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 5,30-9,06 μm , haploid kromozom uzunluğunun 34,44 μm , kol oranının 1,25-3,07 μm , sentromer indeksinin 0,24-0,44, nisbi boyun ise 15,38-26,30 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 2B’de gösterilmiştir.

Tablo 3. *P. strigosa* türünün kromozomlarının uzunluğu, uzun kolu, kısa kolu, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy ve sentromer durumu.

| Kromozom No | Toplam Uzunluk (μm) | Uzun Kol (μm) | Kısa Kol (μm) | Kol Oranı | Sentromer İndeksi | Nisbi Boy (%) | Sentromer Durumu |
|-------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|---------------|------------------|
| 1 | 9,06 | 5,03 | 4,03 | 1,25 | 0,44 | 26,30 | m |
| 2 | 7,09 | 5,03 | 2,05 | 2,45 | 0,28 | 20,58 | sm |
| 3 | 6,62 | 4,99 | 1,62 | 3,07 | 0,24 | 19,22 | st |
| 4 | 6,37 | 4,51 | 1,86 | 2,42 | 0,29 | 18,49 | sm |
| 5 | 5,30 | 3,60 | 1,70 | 2,11 | 0,32 | 15,38 | sm |



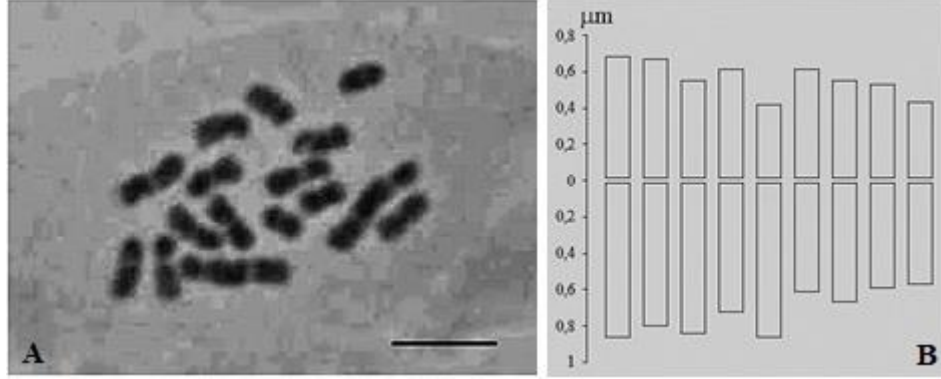
Şekil 2. *P. strigosa* türünün A. Metafaz kromozom görünümü (Skala bar:10 μm) B. Haploid ideogramı

Pulicaria vulgaris türünde somatik kromozom sayısı $2n=2x=18$ (Şekil 3A), karyotip formülü $M+7m+sm$ olarak bulunmuştur. VI numaralı kromozomun noktalı median, I, II, III, IV, VII, VIII ve IX numaralı kromozomların median, V numaralı kromozomun ise submedian olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 1,00-1,54 μm , haploid kromozom uzunluğunun 11,56 μm , kol oranının 1,00-2,04 μm , sentromer indeksinin 0,39-0,50, nisbi boyun ise 8,68-13,34 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 3B’de gösterilmiştir.

Tablo 4. *P. vulgaris* türünün kromozomlarının uzunluğu, uzun kolu, kısa kolu, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy ve sentromer durumu.

| Kromozom No | Toplam Uzunluk (μm) | Uzun Kol (μm) | Kısa Kol (μm) | Kol Oranı | Sentromer İndeksi | Nisbi Boy (%) | Sentromer Durumu |
|-------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1,54 | 0,86 | 0,68 | 1,25 | 0,44 | 13,34 | m |
| 2 | 1,47 | 0,80 | 0,67 | 1,19 | 0,45 | 12,69 | m |
| 3 | 1,39 | 0,84 | 0,55 | 1,53 | 0,39 | 12,00 | m |
| 4 | 1,33 | 0,72 | 0,61 | 1,18 | 0,45 | 11,49 | m |
| 5 | 1,28 | 0,86 | 0,42 | 2,04 | 0,32 | 11,05 | sm |
| 6 | 1,22 | 0,61 | 0,61 | 1,00 | 0,50 | 10,53 | M |

| | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-------|---|
| 7 | 1,21 | 0,66 | 0,55 | 1,20 | 0,45 | 10,49 | m |
| 8 | 1,12 | 0,59 | 0,53 | 1,11 | 0,47 | 9,67 | m |
| 9 | 1,00 | 0,57 | 0,43 | 1,31 | 0,43 | 8,68 | m |

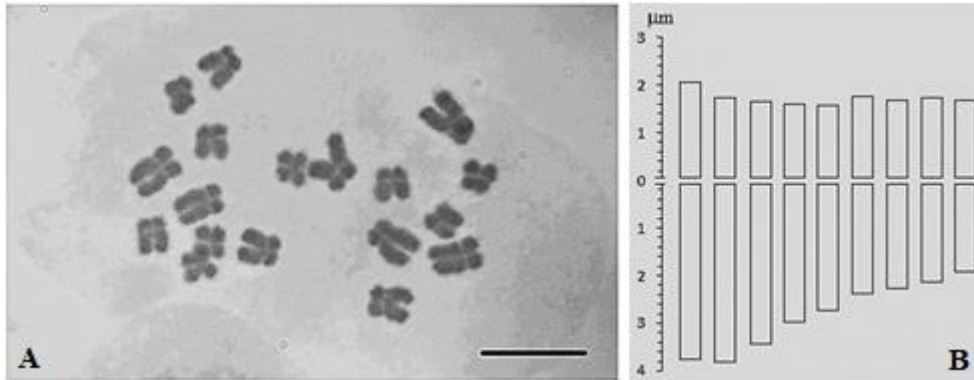


Şekil 3. *P. vulgaris* türünün A. Metafaz kromozom görünümü (Skala bar:2 µm) B. Haploid ideogramı

Lactuca viminea türünde somatik kromozom sayısı $2n=2x=18$ (Şekil 4A), karyotip formülü $4m+5sm$ olarak bulunmuştur. VI, VII, VIII ve IX numaralı kromozomların median, I, II, III, IV ve V numaralı kromozomların submedian olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 3,62-5,82 µm, haploid kromozom uzunluğunun 40,93 µm, kol oranının 1,14-2,20 µm, sentromer indeksinin 0,31-0,46, nisbi boyun ise 8,85-14,22 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 4B'de gösterilmiştir.

Tablo 5. *L. viminea* türünün kromozomlarının uzunluğu, uzun kolu, kısa kolu, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy ve sentromer durumu.

| Kromozom No | Toplam Uzunluk (µm) | Uzun Kol (µm) | Kısa Kol (µm) | Kol Oranı | Sentromer İndeksi | Nisbi Boy (%) | Sentromer Durumu |
|-------------|---------------------|---------------|---------------|-----------|-------------------|---------------|------------------|
| 1 | 5,82 | 3,77 | 2,05 | 1,84 | 0,35 | 14,22 | sm |
| 2 | 5,54 | 3,81 | 1,73 | 2,20 | 0,31 | 13,53 | sm |
| 3 | 5,11 | 3,45 | 1,65 | 2,09 | 0,32 | 12,47 | sm |
| 4 | 4,58 | 2,97 | 1,61 | 1,83 | 0,35 | 11,19 | sm |
| 5 | 4,30 | 2,74 | 1,56 | 1,75 | 0,36 | 10,50 | sm |
| 6 | 4,13 | 2,38 | 1,75 | 1,36 | 0,42 | 10,09 | m |
| 7 | 3,96 | 2,27 | 1,69 | 1,34 | 0,42 | 9,67 | m |
| 8 | 3,87 | 2,14 | 1,73 | 1,23 | 0,44 | 9,44 | m |
| 9 | 3,62 | 1,93 | 1,69 | 1,14 | 0,46 | 8,85 | m |

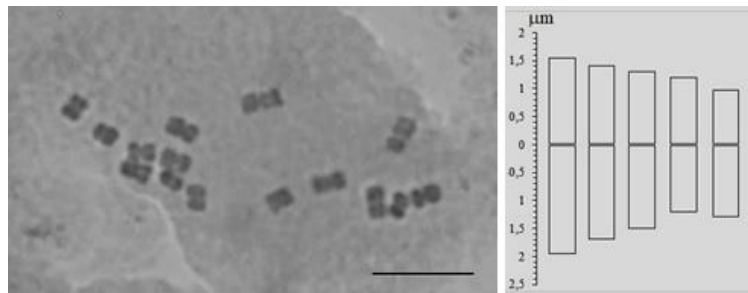


Şekil 4. *L. viminea* türünün A. Metafaz kromozom görünümü (Skala bar:10 µm) B. Haploid ideogramı

Chondrilla juncea türünde somatik kromozom sayısı $2n=3x=15$ (Şekil 5A), karyotip formülü $M+4m$ olarak bulunmuştur. I, II, III ve V numaralı kromozomların median, IV numaralı kromozomun ise noktalı median olduğu gözlenmiştir. Türün kromozom uzunluğunun 2,27-3,49 μm , haploid kromozom uzunluğunun 1,00-1,31 μm , sentromer indeksinin 0,43-0,50, nisbi boyun ise 16,23-24,80 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6). Türe ait haploid ideogram ise Şekil 5B’de gösterilmiştir.

Tablo 6. *C. juncea* türünün kromozomlarının uzunluğu, uzun kolu, kısa kolu, kol oranı, sentromer indeksi, nisbi boy ve sentromer durumu.

| Kromozom No | Toplam Uzunluk (μm) | Uzun Kol (μm) | Kısa Kol (μm) | Kol Oranı | Sentromer İndeksi | Nisbi Boy (%) | Sentromer Durumu |
|-------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|---------------|------------------|
| 1 | 3,49 | 1,95 | 1,54 | 1,26 | 0,44 | 24,80 | m |
| 2 | 3,09 | 1,69 | 1,40 | 1,20 | 0,45 | 22,03 | m |
| 3 | 2,79 | 1,49 | 1,30 | 1,14 | 0,46 | 19,82 | m |
| 4 | 2,40 | 1,20 | 1,20 | 1,00 | 0,50 | 17,12 | M |
| 5 | 2,27 | 1,29 | 0,98 | 1,31 | 0,43 | 16,23 | m |



Şekil 5. *C. juncea* türünün A. Metafaz kromozom görünümü (Skala bar:10 μm) B. Haploid ideogramı

Çalışılan türler içerisinde; kromozom uzunluğu ve haploid kromozom uzunluğu en düşük olan *P. vulgaris* türü iken, en fazla kromozom uzunluğu *P. strigosa* türünde, en fazla haploid kromozom uzunluğu da *L. viminea* türünde tespit edilmiştir. Kol oranının en düşük değerine *P. vulgaris* ve *C. juncea* türünde en yüksek değerine ise *P. strigosa* türünde rastlanmıştır. Nisbi boyun en düşük olduğu tür *C. intybus* türü iken en yüksek olduğu tür *P. strigosa* olarak belirlenmiştir. İncelen türlerin kromozomları genelde median (m) ve submedian (sm) sentromerli iken, *P. vulgaris* ve *C. juncea* türünde noktalı median (M), *P. strigosa* türünde ise subterminal (st) sentromerli kromozomlara da rastlanmıştır.

C. intybus türü ile ilgili gerek geçmiş yıllarda gerekse son yıllarda yapılan literatür çalışmalarını incelediğimizde türün kromozom sayısının genelde $2n=18$ olarak rapor edildiği görülmüştür (Delay, 1947; Kuzmanov ve Kozuharov, 1967; Dujardin ve ark., 1979; Sokolovskaya, 1985; Holingsworth, 1992; Razaq, 1994; Pacheco, 2004; Nazarova, 2004; Hindakova, 2007). Ayrıca Ebenezer ve arkadaşları tarafından 2013 yılında “Kültürü yapılan *Cichorium* L. türlerinde (Asteraceae) tür içi ve türler arası kromozom polimorfizmleri” adlı çalışmada; *C. endivia* ve *C. intybus* türlerinde kromozom sayıları $2n=18$ olarak tespit edilmiştir (Ebenezer ve ark., 2013). Nazarova 1984 yılında yaptığı çalışmada, *P. strigosa* türünün kromozom sayısının $2n=10$ olduğunu bildirmiştir (Nazarova, 1984). Bu

tür ile ilgili başka herhangi bir sitogenetik çalışmaya rastlanmamıştır. Bizim çalışmamız sonucunda da türün somatik kromozom sayısı $2n=10$ olarak belirlenmiştir.

P. vulgaris türü ile ilgili yapılan kromozom çalışmaları çok eski yıllara dayanmakla birlikte günümüze en yakın çalışma 2008 yılında Probatova tarafından yapılmış olup, türün kromozom sayısı $2n=18$ olarak kayıtlara geçmiştir (Wulff, 1937; Dmitrieva ve Parfenov, 1983; Probatova ve ark., 1986; Kochjarova, 1992; Probatova, 2008). *L. viminea* türüne ait karyolojik çalışmalarda türün kromozom sayısı $2n=18$ olarak rapor edilmiştir (Kuzmanov ve Georgieva, 1980; Nazarova, 1984; Mejias, 1992; Gadnidze ve ark., 1998; Galland, 1998; Letz ve ark., 1999; Nazarova, 2004; Gemeinholzer 2005).

C. juncea türü ile ilgili yapılan literatür taramasında genel olarak kromozom sayısı $2n=15$ olarak bildirilmiştir (Magulaev, 1992; Parra ve ark., 1998; Karasnikov ve ark., 2003; Nazarova, 2004; Probatova ve ark., 2009). Bergmann (1952) ve Parkhomenko vd., (2018) yılında yaptıkları çalışmada türün temel kromozom sayısını $x=5$ olarak tespit etmişlerdir (Bergman, 1952; Parkhomenko ve ark., 2018). Bu tür üzerinde yaptığımız incelemeler sonucunda kromozom sayısını $2n=3x=15$ olarak belirledik.

4. Sonuç

Sonuç olarak; bu çalışma ile Asteraceae familyasına ait beş türün karyolojik özellikleri son teknikler kullanılarak güncellenmiş ve bu türler ile ilgili yapılacak diğer çalışmalara temel oluşturacak bulgular ortaya konulmuştur. Çalışılan türlerden dördünün (*C. intybus*, *P. vulgaris*, *L. viminea* ve *P. strigosa*) diploit, *C. juncea* türünün ise triploid olduğu tespit edilmiştir.

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

- Altundağ E. Iğdır İlinin (Doğu Anadolu Bölgesi) doğal bitkilerinin halk tarafından kullanımı. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Farmasötik Botanik Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, 2009.
- Bergman BT. Chromosome morphological studies in *Chondrilla juncea* and some remarks on the microsporogenesis. Ibid 1952; 38: 128-130.
- Davis PH. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. 5, Edinburgh University Press. 1975.
- Delay C. Recherches sur la structure des noyaux quiescents chez les Phanerogames. Rev Cytol Cytophysiol Veg 1947; 1(4): 103-229.
- Dmitrieva SA., Parfenov VI. Khromosomnye chisla nekotorykh vidov flory Belorussii. Izv Akad Nauk Belorussk SSR Ser Biol Nauk (Minsk) 1983; 2: 7-12.

- Dujardin M., Louant BP., Tilquin JP. Determination du caryogramme de *Cichorium intybus* L. Ann Amélior Plantes 1979; 29: 305-310.
- Duke JA. Medicinal plants of the bible. Trado-Medic Books, Buffalo, New York, USA. 1983; 233.
- Ebenezer CS., Bernardes AM., Benko I., Vasconcelos S., Carvalho R., Brasileiro-Vidal AC. Intra and interspecific chromosome polymorphisms in cultivated *Cichorium* L. species (Asteraceae). Genetics and Molecular Biology 2013; 36(3): 357-363.
- Ekim T. *Lactuca* L., Şu eserde: Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (edlr.). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul. 2012; 179-181.
- Elçi Ş. Sitogenetikte gözlemler ve araştırma yöntemleri. Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları. 1982.
- Gadnidge RI., Gviniashvili TN., Danelia M., Churadze MV. Chromosome numbers of the species of the Georgian flora. Bot Zhurn (Moscow & Leningrad) 1998; 83(10): 143-147.
- Galland N. Recherche sur l'origine de la flore orophile du Maroc: Étude caryologique et cytogéographique. Trav Inst Scientifique Rabat sér Bot 1988; 35: 1-168.
- Gemeinholzer B. New chromosome counts for some lactuceae (Compositae). Compositae Newslett 2005; 42: 43-46.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (edlr.). Türkiye bitkileri listesi damarlı bitkiler. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, Flora Dizisi 1, İstanbul. 2012.
- Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer KHC. Flora of Turkey and The East Aegean Islads, suppl. 2, 2000.
- Henikoff S., Ahmad K., Malik HS. The centromere paradox: Stable inheritance with rapidly evolving DNA. Science 2001; 293(5532): 1098-1102.
- Hindakova M. New records in *Anagallis* and *Cichorium*. In: Marhold K., Mártonfi P., Mered'a P. jun. Mráz P. (eds). Chromosome number survey of the ferns and flowering plants of Slovakia. Veda Bratislava 2007; 87: 194.
- Hollingsworth PM., Gornall RJ., Bailey JP. Contribution to a cytological catalogue of the British and Irish flora, 2. Watsonia 1992; 19: 134-137.
- Kochjarova J. Karyological study of the Slovak flora XXVIII. Acta Fac Rerum Nat Univ Comen Bot 1992; 39: 67-74.
- Krasnikov AA., Zhirova OS., Lomonosova MN., Smirnov SV. Chromosome numbers of Asteraceae from the southern Siberia and Kazakhstan. Bot Zhurn (Moscow & Leningrad) 2003; 88(9): 151-153.
- Kuzmanov B., Kozuharov SI. Karyotypes of four Bulgarian compositae species. Compt Rend Acad Bulg Sci 1967; 20: 469-472.
- Kuzmanov B., Georgieva S. In chromosome number reports LXIX. Taxon 1980; 29: 715.

- Letz R., Uhríkova A., Majovský J. Chromosome numbers of several interesting taxa of the flora of Slovakia. *Biologia* 1999; 54: 43-49.
- Levan A., Fredga K., Sandberg AA. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 1964; 52: 201-220.
- Magulaev AY. Chromosome numbers in some species of vascular plants of the northern Caucasus flora. *Bot Zhurn (Moscow & Leningrad)* 1992; 77(10): 88-90.
- Mejias JA. Cytotaxonomic studies in the Iberian taxa of the genus *Lactuca* (Compositae). *Bot Helv* 1992; 103: 113-130.
- Milovanovic M., Picuric-Jovanovic K., Djermanovic V., Stefanovic M. Antioxidant activities of the constituents of *Picris echoides*. *Journal of the Serbian Chemical Society* 2002; 66(10): 7-15.
- Nazarova EA. Chromosome numbers of flowering plants of Armenian Flora. Yerevan 2004; 1-171.
- Nazarova EA. Chromosome numbers in the Caucasian representatives of the families Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Limoniaceae. *Bot Zhurn SSSR* 1984; 69(7): 972-975.
- Odah M., Oran S. Karyological study of the genus *Ornithogalum* (Liliaceae) in Jordan. *Dirasat Pure Sci* 2007; 34(2): 210-220.
- Özdemir Nath E., Bilgin M., Gürdal B. Antimicrobial activity of pulicaria species from Turkey. *Experimed* 2021; 11(3): 195-199.
- Pacheco. Numeros cromosomicos para la flora Espanola. *Lagascalía* 2004; 24(819-830): 175-182.
- Parkhomenko A., Kashin A., Grebenyuk L. Karyotypic variability in some species of the genus *Chondrilla* (Asteraceae). *BIO Web of Conferences* 2018; 11: 00031.
- Parra R., Valdes, B., Alvarez A., Villarreal J., Roldan J. Numeros cromosomicos para la flora espanola 793-805. *Lagascalía* 1998; 20(2): 302-308.
- Probatova NS., Sokolovskaya AP., Rudyka EG. Chromosome numbers and distribution of some adventitive plants and weeds in Primorye territory and Sahalin. *Izv Sibirisk Otd Akad Nauk SSSR Ser Biol* 1986; 2: 63-68.
- Probatova NS., Rudyka EG., Seledets VP., Nechaev VA. IAPT/IOPB Chromosome Data 6. *Taxon* 2008; 57(4): 1267-1273.
- Probatova NS., Seledets VP., Rudyka EG., Gnutikov AA., Kozhevnikova ZV., Barkalov VY. IAPT/IOPB Chromosome Data 8. *Taxon* 2009; 58(4): 1284-1288.
- Raven PH., Axelrod DI. *Annals of The Missouri Botanical Garden* 1974; 61: 539-673.
- Razaq ZA., Vahidy AA., Ali SI. Chromosome numbers in compositae from Pakistan. *Ann Missouri Bot Gard* 1994; 81: 800-808.
- Sokolovskaya AP., Probatova NS., Rudyka EG. Chromosome numbers in the species of the families Asteraceae, Poaceae, Rosaceae from the Primorye Region, Kamchatka and Sakhalin. *Bot Zhurn SSSR* 1985; 70(1): 126-128.

- Velayutham P., Ranjithakumarı BD., Baskaran P. An efficient in vitro plant regeneration system for *Cichorium intybus* L. an important medicinal plant. Journal of Agricultural Technology 2006; 2: 287-298.
- Wulff HD. Karyologische untersuchungen an der Halophytenflora Schleswig-Holsteins. Jahrb f wiss Bot 1937; 84: 812.
- Yıldız H., Yıldırım, BŞ., Öztürk, SDK., Tek AL. Bitki kromozomlarında sentromerlerin önemi, moleküler yapısı ve organizasyonu. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences 2021; 33(2): 308-323.

Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri

Efe ERİN¹, Güfte CANER AKIN^{2*}, Ümit ALKAN³

¹İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

²İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2508-5752>

²<https://orcid.org/0000-0003-3010-5172>

³<https://orcid.org/0000-0002-0044-5494>

*Sorumlu yazar: gcaner@gelisim.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.07.2022

Kabul tarihi: 20.12.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği

İş kazası verileri

İş sağlığı ve güvenliği teftişleri

Ana metal sektörü

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'de ana metal sektörünün iş kazası sayıları açısından hangi boyutlarda olduğunun ortaya konulması ve kayıtlara geçen kaza sayılarının seçilen Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmasının yapılmasıdır. Böylelikle iş kazası ve meslek hastalıklarına neden olabilecek uygunsuzlukların incelenerek çözüm önerilerinin sunulması ile sektördeki iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarına katkı sunulması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmada; ana metal sektörü iş sağlığı ve güvenliği açısından ele alınmış olup SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) ile EUROSTAT (Avrupa Birliği İstatistik Ofisi) tarafından yayımlanan iş kazası sayıları kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamada genel kaza sıklığı, ölümlü kaza sıklığı, geçici iş göremezlik ile sürekli iş göremezlik kaza sıklığı, kaza sıklık hızı, kaza ağırlık hızı ve standardize iş kazası oranı parametreleri kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu ortaya çıkan değerler tablo ve grafiklerle sunulmuş yorumlanmıştır. Ayrıca çalışmada ana metal sektörüne özgü; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nca yapılan teftişlerde karşılaşılan uygunsuzluklar için çözüm önerileri üzerinde durulmuştur. Çalışma sonucunda, ana metal sektörü ülkemizde iş kazası sayıları açısından ilk sıralarda yer alan bir sektör olma özelliğinde olup seçilen Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde 2012 senesinden sonra ilk sıralarda bulunmaktadır. Sonuç olarak; sektörde dikkatle üzerinde durulması gereken risk etmenleri iş ekipmanlarından kaynaklı riskler, kimyasal risk etmenleri ve termal konfor, gürültü, titreşim, aydınlatma, radyasyon olarak ele alınan fiziksel risk etmenleridir. Bu çalışma, birinci yazarın İstanbul Gelişim Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Assessments Related to Occupational Health and Safety in the Basic Metal Sector and Solution Proposals

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 18.07.2022

Accepted: 20.12.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Occupational health and safety

Occupational accident data

Occupational health and safety

inspections

Basic metal sector

The aim of this study; Occupational health and safety in the sector by revealing the dimensions of the main metal sector in terms of the number of work accidents in Turkey and comparing the number of accidents recorded in the main metal sector in our country with the selected European Union countries. Thus, it is aimed to contribute to the occupational health and safety studies in the sector by examining the nonconformities that may cause work accidents and occupational diseases and presenting solution suggestions. In the study; The basic metal sector was discussed in terms of occupational health and safety, and the numbers of work accidents published by SGK (Social Security Institution) and EUROSTAT (European Union Statistical Office) were compared. In this comparison, the

parameters of general accident frequency, fatal accident frequency, temporary incapacity for work and permanent incapacity for work, accident frequency rate, accident severity rate and standardized occupational accident rate were used. The values obtained as a result of the calculations have been interpreted by presenting tables and graphics. In addition, in the study, specific to the basic metal sector; Solution proposals for the nonconformities encountered during the inspections carried out by the Ministry of Labor and Social Security were emphasized. As a result of the study, the main metal sector is one of the first sectors in terms of the number of work accidents in our country, and it is in the first place among the selected European Union countries after 2012. As a result; Risk factors that need to be carefully considered in the sector are risks arising from work equipment, chemical risk factors and physical risk factors such as thermal comfort, noise, vibration, lighting and radiation. This study is derived from the first author's master's thesis at Istanbul Gelişim University, Department of Occupational Health and Safety.

To Cite: Erin E., Akın GC., Alkan Ü. Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 749-775.

1.Giriş

Bir işletmenin çalışanlarının, ortaya çıkacak her türlü zarardan korunması İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamındadır. Çalışanların karşılaşılabileceği her türlü zarara karşı korunması, işletmenin iş kazası ve meslek hastalıkları sonucu doğrudan veya dolaylı olarak maruz kalacağı kayıplar, İSG çalışmalarının etkin yapılıp yapılmamasıyla ilgilidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından yapılan İSG tanımlarına bakıldığında; çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal durumlarını korumak veya iyileştirmek için yapılan faaliyetler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yapılan işin her türlü olumsuz etkilerine karşı sağlık ve güvenlik açısından çalışanları korumak, yapılacak sağlık muayeneleri ile çalışanların uygun işlere yerleştirilmesini sağlamak, işin insana uygun hale getirilmesini sağlamak olarak bahsedilebilir (Özkılıç, 2005).

Sanayileşme ile birlikte teknolojik gelişmelere paralel olarak makineleşme, el işçiliğinden otomasyon sistemlerine geçilmesi İSG kavramının daha da gündeme gelmesine neden olmuştur. İş güvenliği faaliyetleri gerçekleştirilirken, çalışma yaşamında ortaya çıkan tehlikelere karşı alınması gereken önlemlerle birlikte iş kazalarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu alanda yapılacak çalışmaların temelinde “güvensiz durumların” ve “güvensiz davranışların” önüne geçilmesi için yapılacak her türlü faaliyet yer almaktadır. İş sağlığı unsuru içerisinde ise doğru işe doğru insanın yerleştirilmesi amaçlanmıştır (Eroğlu, 2015).

Sanayi devrimiyle birlikte birçok sektörde olduğu gibi ana metal sektöründe de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Sanayi devrimi sonucu tüm dünyada daha fazla metal ürünlerine duyulan ihtiyaç, yeni metal ürünlerinin üretilmesiyle birlikte fabrikaların artan metal ihtiyaçları ana metal sektörünün daha da önem kazanmasını sağlamıştır. Sektörde üretilen ürünlere olan ihtiyaç ve kullanım çeşitliliği bakımından ana metal sektörü imalat sanayi içerisinde önemli sektörlerin başında gelmektedir. Ana metal sektörü; diğer sektörlerdeki ürün ihtiyacını karşılayan bir sektör olma özelliğinden dolayı başta gemi inşaatı, inşaat, otomotiv, demiryolu sanayi, savunma sanayi, makina imalat sektörü vb. birçok sektör ile sıkı iş birliği içerisinde (Ateş, 2008; Şahinkaya, 2012).

Ana metal sektörü; Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) sınıflandırmasında demir çelik ana sanayi sektörü

ve demir çelik dışı ana metal sanayi sektörü olarak 2 alt sektöre ayrılmıştır. Demir çelik dışı ana metal sanayi ise değerli metal, kurşun, alüminyum, bakır, kalay, çinko ve demir dışı diğer metaller olarak sınıflandırılmıştır (General, 2003; Özden ve Haçikoğlu, 2017).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma iki kısımdan oluşmakta olup ilk kısımda ana metal sektörü için hem Türkiye’de hem de AB ülkeleri için yayınlanan iş kazası verileri analiz edilerek sektördeki kazalar tablolar ve grafiklerle sunulup yorumlanmıştır. İş kazası sıklığı, iş kazası sıklık hızı, iş kazası ağırlık hızı ve standardize kaza oranı formüllerinden yararlanılarak hem sektör bazında hem de Türkiye toplamı için hesaplamalar yapılmış olup görsel ve sayısal olarak sunulmuştur. İş kazası verileri 2009 ile 2018 yılları arasında kapsamakta olup kendi içinde değerlendirmeler yapılarak kazaların bahsi geçen 10 yıllık süre içinde istatistiksel seyri hakkında veriler ortaya konularak ana metal sektörü ile tüm Türkiye geneli toplam kaza verileri çeşitli formüller ile hesaplanarak analiz edilmiştir.

AB ülkeleri ile Türkiye’deki kaza verilerinin karşılaştırılması için ana metal sektörüne ait 2009-2018 yılları arasında bahsi geçen ülkelerin kaza sıklık değerleri hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Türkiye’ye ait 2009 ile 2018 yılları arasında ana metal sektörü ve tüm sektörler toplamı için iş kazası sayıları Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan resmi yıllık istatistik verilerinden alınmıştır. AB ülkeleri için 2009-2018 yılları arasında iş kazası sıklık değerleri, Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (EUROSTAT) verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Ayrıca ülke geneli ve ana metal sektöründeki iş kazası verilerinin farklı açılardan değerlendirilmesi yapılmış olup bunun için devlet tarafından iş müfettişlerince yapılan İSG alanındaki teftiş sayılarıyla iş kazası sayılarının 2009 ile 2018 yılları arasındaki verileri de karşılaştırmalı şekilde tablo halinde sunulmuştur. Sektördeki teftiş sayıları ile teftiş edilen çalışan sayıları ve teftiş edilen işyeri sayılarına ait veriler; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı’nın yayımladığı Çalışma Hayatı İstatistiklerinden alınmıştır.

Bu çalışmanın ikinci kısmında ülkemizde ana metal sektörüne ait sahada uygulama sırasında karşılaşılan teknik ve organizasyonel İSG uygunsuzlukları üzerinde durulmuş olup, çalışmanın bir sonraki aşamasında ise bu uygunsuzluklar için çözüm önerileri sunulmuştur. Türkiye’de ana metal sektöründe sahada karşılaşılan uygunsuzluk verileri için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı’nca iş müfettişleri tarafından yapılan İSG saha denetimleri sonucu resmi olarak yayımlanan saha denetim sonuç raporları 2014 ve 2017 yılları için incelenerek elde edilen uygunsuzluk verileri esas alınmıştır. Çözüm önerilerinde ulusal ve uluslararası mevzuattan, bilimsel çalışmalardan, uluslararası standartlardan ve iyi uygulama örneklerinden yararlanılmıştır.

2.1. İş Kazası Karşılaştırma Ölçütleri

İş kazası oranlarını karşılaştırmak için kullanılacak verilerde göz önünde bulundurulması gereken iş kazası sayıları tek başına anlam ifade etmemektedir. Çalışan sayıları sektörler arasında ve ülkeler arasında

değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle gerçeğe uygun kıyaslamalar yapabilmek için farklı parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Sektörlere ait ve ülkelere özgü çalışan sayıları, iş kazalarının sektördeki oranları gibi faktörlerinde değerlendirmeye dahil edilmesi gerekmektedir. Değişen bu koşulları doğru analiz edebilmek için farklı parametrelere başvurulmalıdır (Ceylan, 2012).

Bu çalışmada; SGK ve EUROSTAT tarafından belirlenen ve kullanılan aynı zamanda ortak ve uluslararası kabul görmüş parametreleri içeren “kaza sıklığı”, “iş kazası sıklık hızı”, “iş kazası ağırlık hızı” ve “standardize iş kazası oranı” kavramları analiz edilmiş, grafikler ve tablolar hazırlanarak bu kapsamda değerlendirmeler yapılmıştır.

Kaza Sıklığı; 1 sene boyunca her yüz bin sigortalı başına gerçekleşen kaza sayısı şeklinde ifade edilmektedir. Kaza sıklığı hesaplaması Denklem 1'de gösterilmiştir (EUROSTAT, 2014; T.C. SGK, 2020).

$$\text{Kaza Sıklığı} = \frac{\text{Toplam Kaza Sayısı}}{\text{Çalışan Sayısı}} \times 10^5 \quad (1)$$

Yapılan bu çalışma kapsamında ana metal sektöründe iş kazasıyla bağlantılı olan farklı sıklık değerleri hesaplanmıştır. Kaza sayıları, geçici iş göremezlik, sürekli iş göremezlik ve ölümlü iş kazaları olarak değişik sıklık değerleri ele alınmıştır.

İş Kazası Sıklık Hızı; 1 sene boyunca çalışma süresinde her 1 milyon iş saatinde oluşan kaza sayısı şeklinde ifade edilmektedir. İş kazası sıklık hızı hesaplaması Denklem 2'de gösterilmiştir (EUROSTAT, 2014; T.C. SGK, 2020).

$$\text{İş Kazası Sıklık Hızı} = \frac{\text{İKS}}{\text{PTEGS} \times 8} \times 10^6 \quad (2)$$

İKS: İş kazası geçiren sigortalı sayısı

PTEGS: Prim tahakkuk eden gün sayısı

İş Kazası Ağırlık Hızı; 1 sene boyunca çalışma süresinde her 1 milyon iş saatinde iş kazası sonucu oluşan kayıp iş günü sayısı şeklinde ifade edilmektedir. İş kazası ağırlık hızı hesaplaması Denklem 3'te gösterilmiştir (EUROSTAT, 2014; T.C. SGK, 2020).

$$\text{İş Kazası Ağırlık Hızı} = \frac{\text{TGK}}{\text{PTEGS} \times 8} \times 10^6 \quad (3)$$

TGK: İş kazası sonucu toplam gün kaybı

PTEGS: Prim tahakkuk eden gün sayısı

Standardize İş Kazası Oranı; 1 yıl boyunca iş kazalarının gerçekleştiği faaliyet koluna ait iş kazası sayılarının aynı faaliyet kolunda beklenen iş kazası sayılarına yüzdesel olarak oranı şeklinde ifade edilmektedir. Standardize iş kazası oranı hesaplanması Denklem 4, 5 ve 6'da gösterilmiştir (EUROSTAT,

2014; T.C. SGK, 2020).

$$\text{Standardize İş Kazası Oranı} = \frac{\text{Faaliyet Koluna Ait İş Kazası Sayısı}}{\text{Beklenen İş Kazası Sayısı}}$$

(4)

$$\text{Beklenen İş Kazası Sayısı} = \left(\text{Genel İş Kazası Hızı} \times \text{İncelenen İş Kolundaki Zorunlu Sigortalı Sayısı} \right)$$

(5)

$$\text{Genel İş Kazası Hızı} = \frac{\text{Kaydedilen Toplam İş Kazası Sayısı}}{\text{Toplam Sigortalı Sayısı}}$$

(6)

2.2. 2014 ve 2017 Yıllarında Ana Metal Sektöründe Gerçekleştirilen İSG Teftişleri

Çalışma ve Güvenlik Bakanlığı'nca iş müfettişleri tarafından ana metal sektöründe gerçekleştirilen teftişlerin amacı teftiş edilen işyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'yla birlikte çıkartılmış olan mevzuatların uygulanması konusunda işverenlerin ve ilgili kişilerin bilgilendirilmesi ve yapılan uygulamaların denetlenmesidir. İşyerindeki mevcut risklerin ortaya çıkarılması, yapılacak faaliyetlerle ilgili alınacak önlemler ve tedbirler için güvenli bir çalışma ortamının oluşmasına yardımcı olunması, risklerin tamamen ortadan kaldırılması veya seviyelerinin azaltılması, yapılacak eğitimler ve bilgilendirme toplantılarıyla İSG mevzuatına uygun çalışma ortamlarının oluşturulması amaçlanmaktadır. Ana metal sektöründeki İSG denetimlerinin iş kazalarının önüne geçilmesine katkıda bulunması hedeflenmiştir (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014; 2017).

İzmir, Aydın, Manisa, Bilecik, Denizli, Bursa, Kayseri, Karabük, Tekirdağ, Hatay ve Osmaniye'de 326 işyerinin 2014 yılı İSG teftişlerinde ana metal sektöründe denetimleri gerçekleştirilmiştir (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014).

Ana metal sektöründe 2017 yılı iş sağlığı ve güvenliği teftişlerinde 329 işyerinin teftişi yapılmıştır. İstanbul, Ankara, Kocaeli, İzmir, Bursa, Sakarya, Osmaniye, Hatay, Karabük ve Zonguldak illerinde ana metal sektörü denetimleri iş müfettişleri tarafından yapılmıştır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2017).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Türkiye'de Ana Metal Sektöründe İş Kazası Verilerinin Değerlendirilmesi

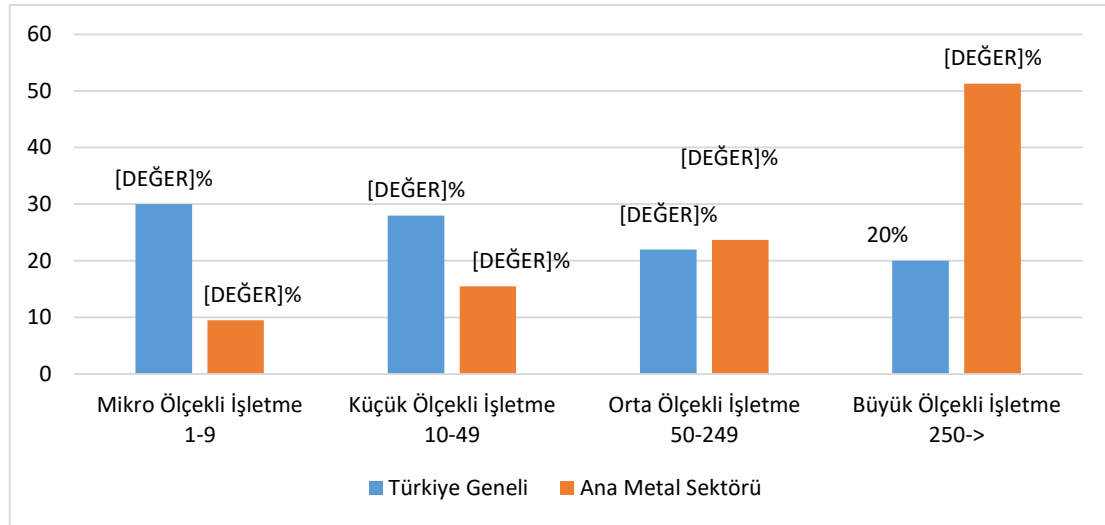
Türkiye geneli ve ana metal sektöründe 2009-2018 dönemi boyunca SGK tarafından açıklanan istatistiklerden alınan verilere göre çalışan toplam sigortalı sayıları Tablo 1'de düzenlenmiştir. 2009-

2015 yılları arasında Türkiye genelindeki sektörlerin toplam sigortalı sayıları sürekli artarken 2016 ve 2018 yıllarında bir önceki yıla göre ufakta olsa bir azalma yaşanmıştır.

Ana metal sektöründe 2009-2012 yılları arasında sürekli artan istihdam, 2013 yılından itibaren 2016 yılına kadar sektörün istihdamında düzenli bir azalma gözlenmiş olup 2017 yılında yine bir artış görülmekte ve 2018 yılında ise bir önceki yıla göre ufakta olsa bir azalma görülmektedir. Ana metal sanayindeki sigortalı sayıları Türkiye toplamıyla karşılaştırıldığında; Şekil 1’de olduğu gibi sektörün sigortalı sayısının %75’i çalışan sayısı elli ve üstü olan büyük ve orta ölçekli işyerlerinden meydana geldiği görülürken bu oranın Türkiye geneli için %42 olduğu görülmektedir.

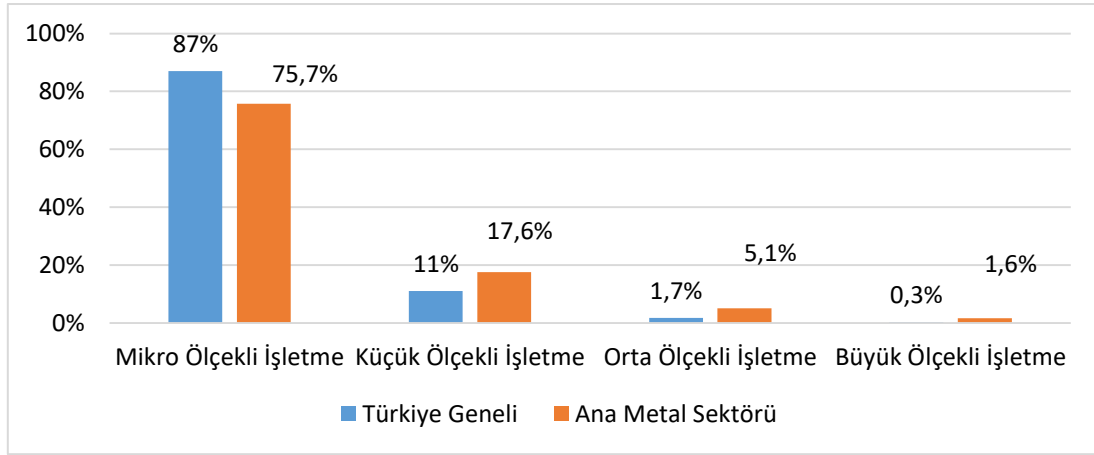
Tablo 1. Sigortalı çalışan sayıları

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ana Metal Sektörü | 118109 | 145014 | 158175 | 164795 | 159842 | 151253 | 149301 | 145268 | 168084 | 162481 |
| Türkiye Geneli Toplam | 9030202 | 10030810 | 11030939 | 11939620 | 12484113 | 13240122 | 13999398 | 13775188 | 14477817 | 14229170 |



Şekil 1. Çalışanların işyeri büyüklüğüne göre dağılımı

Ana metal sanayindeki işyerlerinin, çalışan sayılarına göre büyüklükleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu verilere göre Türkiye’deki işletmelerin %98’i çalışan sayısı elli altıda olan küçük ve mikro ölçekli işyerlerinden oluşmakta olup ana metal sektöründe ise elli altı işyerleri %93,3 ile Türkiye ortalamalarının altındadır.



Şekil 2. Çalışan sayısına göre işyeri büyüklüğü dağılımı

İşyeri sayıları incelendiğinde, Sosyal Güvenlik Kurumu'nca yayınlanan yıllık istatistiklere göre 2009-2018 dönemi boyunca Türkiye geneli işyeri sayılarında sürekli artış görülmektedir. Ana metal sektörü işyeri sayılarında 2009-2012 yılları boyunca düzenli olarak artış gözlenirken 2013'ten itibaren 2018 yılına kadar azalma yaşanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Sektördeki işyeri sayıları

| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ana Metal Sektörü | 7046 | 8612 | 9059 | 9063 | 8918 | 7830 | 7607 | 7270 | 6854 | 6658 |
| Türkiye Geneli Toplam | 1216308 | 1325749 | 1435879 | 1538006 | 1611292 | 1679990 | 1740187 | 1749240 | 1874682 | 1879771 |

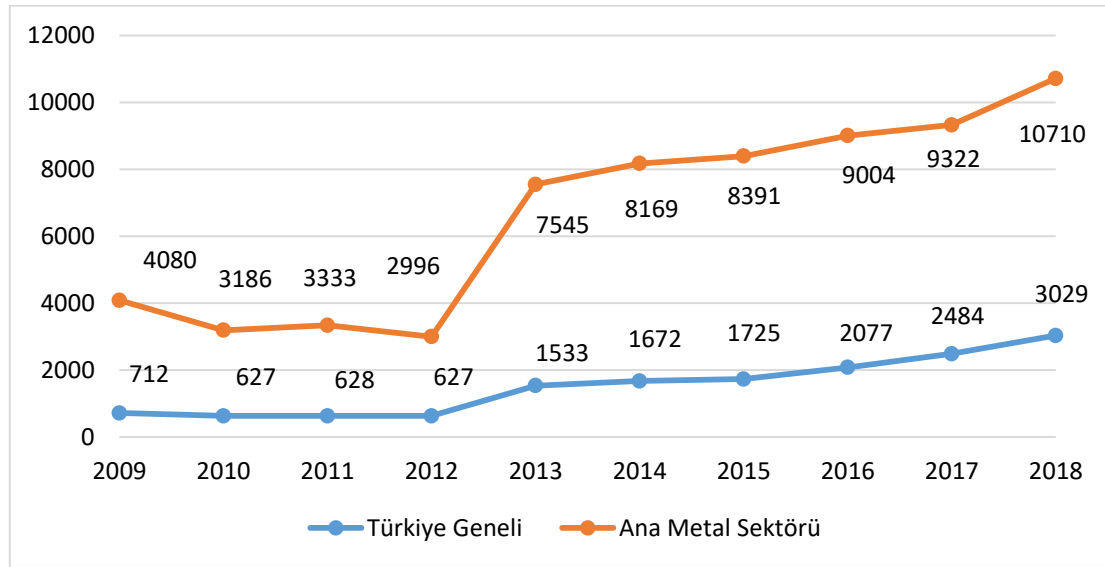
2009-2018 dönemi boyunca Türkiye'deki toplam ve ana metal sektörüne ait çalışan sayısı, gerçekleşen iş kazası verileri, hesaplanan iş kazası sıklığı ve yıllar boyunca yüzdesel değişimleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Hesaplanan verilere göre çalışan sayılarında 2009-2018 yılları arasında Türkiye genelinde %57,5'lik artış gerçekleşirken, dalgalanmalar gösteren ana metal sektöründe %37,5 artış görülmektedir. 162.481 çalışanı ile ana metal sektörü tüm ülkedeki çalışanların yaklaşık %1,1'ini oluşturmaktadır. İş kazaları bakımından incelendiğinde hem ülke geneli hem de ana metal sektöründe 2010 yılında iş kazasında azalma yaşanmasına rağmen 2013'te ana metal sektörü %244 ve Türkiye geneli ise %156'lık artış ile en büyük artışı gerçekleştirmiştir.

Tablo 3. İş kazası sıklığı

| Yıllar | Türkiye Geneli | | | | | | Ana Metal Sektörü | | | | | |
|--------|----------------|--------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Çalışan Sayısı | Değişim %'si | İş Kazası Sayısı | Değişim %'si | İş Kazası Sıklığı | Değişim %'si | Çalışan Sayısı | Değişim %'si | İş Kazası Sayısı | Değişim %'si | İş Kazası Sıklığı | Değişim %'si |
| 2009 | 9030202 | | 64316 | | 712 | | 118109 | | 4819 | | 4080 | |
| 2010 | 10030810 | 11% | 62903 | -2% | 627 | -12% | 145014 | 22% | 4621 | -5% | 3186 | -22% |
| 2011 | 11030939 | 10% | 69227 | 10% | 628 | 0,1% | 158175 | 9% | 5272 | 14% | 3333 | 4% |
| 2012 | 11939620 | 8% | 74871 | 8% | 627 | -0,1% | 164795 | 4% | 4938 | -7% | 2996 | -11% |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|----------|-----|--------|------|------|-----|--------|-----|-------|------|-------|------|
| 2013 | 12484113 | 5% | 191389 | 156% | 1533 | 44% | 159842 | -4% | 12061 | 244% | 7545 | 251% |
| 2014 | 13240122 | 6% | 221366 | 16% | 1672 | 9% | 151253 | -6% | 12357 | 2% | 8169 | 8% |
| 2015 | 13999398 | 6% | 241547 | 9% | 1725 | 3% | 149301 | -2% | 12529 | 1% | 8391 | 2% |
| 2016 | 13775188 | -2% | 286068 | 18% | 2077 | 20% | 145268 | -3% | 13081 | 4% | 9004 | 7% |
| 2017 | 14477817 | 5% | 359653 | 26% | 2484 | 20% | 168084 | 15% | 15670 | 19% | 9322 | 3% |
| 2018 | 14229170 | -2% | 430985 | 20% | 3029 | 22% | 162481 | -4% | 17403 | 11% | 10710 | 14% |

İş kazası sayıları ile çalışan sayılarına göre hesaplanan kaza sıklık değerlerinin incelenen yıllar boyunca değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Türkiye'de ve ana metal sektöründe 2012'ye kadar genel olarak bir azalma gözlenirken bu yıldan sonra önemli bir yükseliş gözlenmiştir. Bunun sebebi Tablo 3'te açıklandığı gibi 2012'de ana metal sektöründe her 100.000 çalışan başına 2.996 iş kazası olurken 2018 senesinde bu değer yaklaşık 2,5 kat artarak 10.710 çalışan iş kazası yaşamıştır. Ülke genelindeyse 2012'de her 100.000 çalışandan 627'si iş kazası yaşarken 2018 yılında bu değer 3.029'a yükselmiş yaklaşık 5 kat artış yaşanmıştır. Ana metal sektöründe kaza sıklığı en fazla 2018 yılında yaşanmış olup Türkiye geneli ortalamasının yaklaşık 3,5 kat üstünde bir değerle her 100.000 çalışandan 10.710 kişi iş kazası yaşamıştır.



Şekil 3. İş kazası sıklığı dağılımı

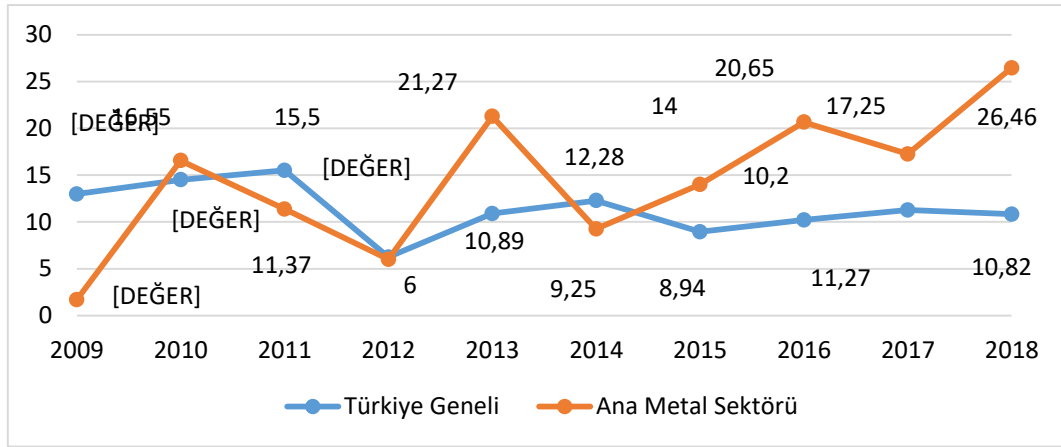
Çalışan sayısı değişimlerinde çok fazla bir fark olmamasına karşın iş kazası sayılarında yaşanan fazla artışın sebebi ise 2012'de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'yla birlikte iş kazası bildirimlerinin daha fazla yapılmaya başlanmış olması olarak değerlendirilmektedir. İş kazası bildirimlerinin elektronik ortamda yapılmaya başlanmasıyla aynı zamanda bu durum SGK tarafından yayımlanan verilere de yansıtılarak açıklanan kaza sayılarında da artış yaşanmasına sebep olmuştur.

2009-2018 dönemi boyunca Türkiye'deki toplam ve ana metal sektöründe gerçekleşen iş kazalarının sonucunda ölüm sayısı, sürekli iş göremezlik sayısı ve gün olarak açıklanan geçici iş göremezlik süresindeki değişimler Tablo 4'te verilmiştir. 2015'ten itibaren geçici iş göremezlik süresi ve sürekli iş göremezlik sayısında artışlar gözlenmekte olup ölüm sayılarında ana metal sektöründe ve Türkiye genelinde yıllara göre farklılıklar görülmektedir.

Ana metal sektöründe ortalama olarak yıllık 23 kişinin hayatını kaybettiği gözlenirken her yıl ortalama olarak 103 kişinin ise ömür boyu sakat kaldığı gözlenmektedir. 2018’de ana metal sektöründe 141.737 iş günü kaybı yaşanmışken bu sayının %97,3’ü hafif yaralanmalı ve ayakta tedavi edilebilen iş kazası vakalarından oluşmuştur. İncelenen 10 yıllık dönem boyunca sektördeki ölüm sayıları Türkiye genelinin yaklaşık %1,7’sine denk gelmektedir. Geçici iş göremezlik süresi ve sürekli iş göremezlik sayılarında ise sektörün ülke geneli içinde payları sıra ile %6 ve %3,7 olmuştur. Burada görülen durum sektördeki iş kazalarının genel olarak hafif şiddetli kazalar şeklinde sonuçlanmakta olduğudur.

Tablo 4. Ölüm, sürekli iş göremezlik ve geçici iş göremezlik istatistikleri

| Yıllar | Ölüm Sayısı | | Sürekli İş Göremezlik Sayısı | | Geçici İş Göremezlik Süresi (gün) | |
|----------|----------------|-------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü |
| 2009 | 1171 | 2 | 1885 | 41 | 1589116 | 98455 |
| 2010 | 1454 | 24 | 2085 | 43 | 1466165 | 91878 |
| 2011 | 1710 | 18 | 2216 | 64 | 1772900 | 109513 |
| 2012 | 745 | 10 | 2209 | 84 | 1650250 | 91975 |
| 2013 | 1360 | 34 | 1694 | 64 | 2357505 | 152657 |
| 2014 | 1626 | 14 | 1509 | 58 | 2065962 | 139804 |
| 2015 | 1252 | 21 | 3596 | 155 | 2992070 | 177320 |
| 2016 | 1405 | 30 | 4642 | 196 | 3453702 | 188489 |
| 2017 | 1633 | 29 | 4226 | 168 | 3996873 | 227146 |
| 2018 | 1541 | 43 | 4067 | 154 | 2488001 | 141737 |
| Ortalama | 1389 | 23 | 2812 | 103 | 2383254 | 141897 |



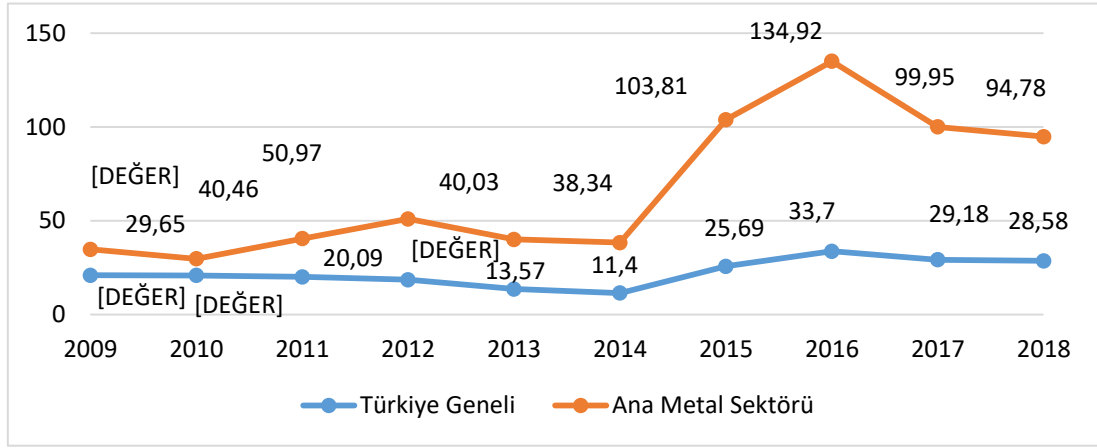
Şekil 4. Ölümlü kaza sıklığı dağılımı

Şekil 4’te gösterilen ve her yüz bin kişiye karşılık gelen ölüm sayısını tanımlayan ölümlü kaza sıklıkları ele alındığında; 2012 senesinde önemli bir azalış yaşandığı görülmektedir. 2018 senesinde Türkiye’deki her yüz bin çalışan içinde yaklaşık 11 kişi hayatını kaybederken ana metal sektöründe ise yaklaşık 26 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu durum ana metal sektöründe ölüm vakalarının ülke ortalamasının yaklaşık 2,5 katı olduğunu göstermektedir.

İş kazaları veya meslek hastalıkları sonucunda sigortalı çalışanların meslekte çalışma gücü kaybı oranlarının %10 ve daha fazla olması durumlarında sürekli iş göremezlik hali gerçekleşmektedir.

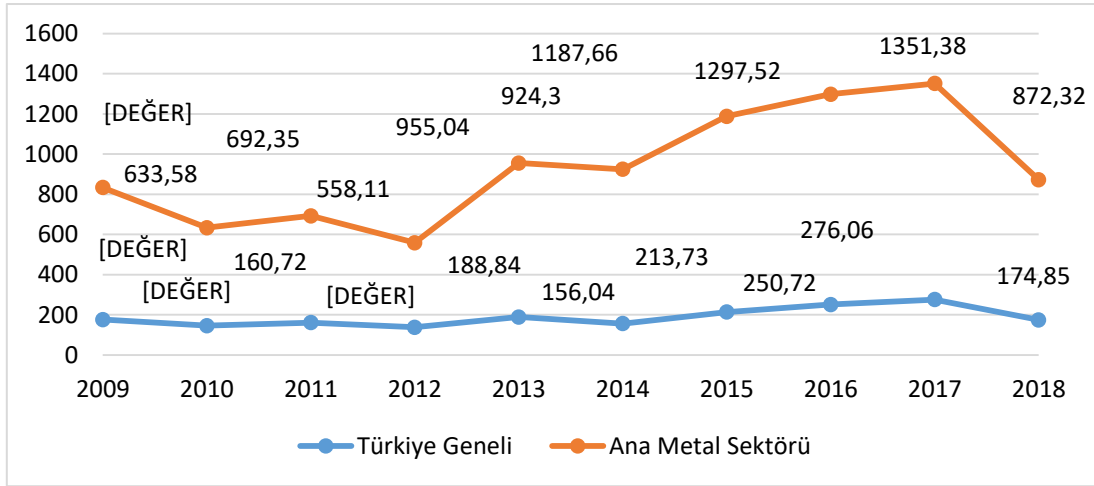
Türkiye geneli ve ana metal sektöründe; yıllara göre resmi olarak açıklanan sayısal verilerden elde edilerek hesaplamaları yapılan sürekli iş göremezlik kaza sıklığı dağılımları Şekil 5’te gösterilmiştir.

Grafiğe bakıldığında Türkiye’de ve ana metal sektöründe sürekli iş göremezlik kaza sıklığında 2012’den 2014’e kadar bir azalma yaşandığı gözlenmiş olmasına rağmen 2014’ten 2015 yılına geçildiğinde sektörde yaklaşık %200 oranında önemli bir artış gözlenmektedir. Yine 2014’ten 2015’e geçilirken ülke genelinde ise yaklaşık %150 oranında bir artış yaşanmıştır. 2014’te ana metal sektöründe her yüz bin kişide yaklaşık 38 kişi sürekli iş göremez duruma geçerken 2015 yılında bu değer 103’e çıkmıştır. Ülke genelinde ise 2014 yılında yaklaşık 11 kişi iş göremez hale gelirken 2015’te bu rakam 25’e yükselmiştir. Buradan anlaşılacağı gibi ana metal sektöründe ülke geneline oranla yaklaşık 4 katı kadar sayıda çalışan sürekli iş göremez hale geçerek meslekte kazanma gücünün en az %10’unu kaybetmektedir.



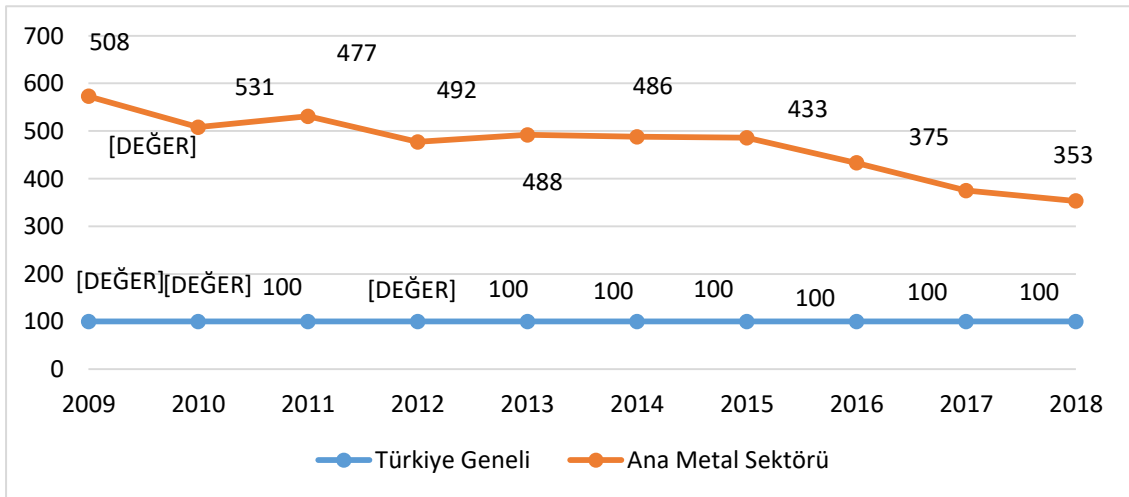
Şekil 5. Sürekli iş göremezlik kaza sıklığı dağılımı

Geçici iş göremezlik olarak ifade edilen iş kazaları veya meslek hastalıklarının sonucunda belirli sürelerde çalışamama durumları için açıklanan veriler ile oluşturulan geçici iş göremezlik kaza sıklığı dağılımı Şekil 6’da verilmiştir. Ana metal sektöründe, 2009’dan 2018’e kadar incelenen yıllar arasında geçici iş göremezlik sürelerinde en büyük artış 2012 yılından 2013 yılına geçişte %72’lik bir oranla gerçekleşmiştir. Türkiye geneli için en büyük artış yine aynı yıllarda %37’lik bir artış oranıyla yaşanmıştır. 2018 yılında Türkiye geneli ve sektörde geçici iş göremezlik sürelerinde bir önceki yıla göre ciddi bir azalma görülmektedir.

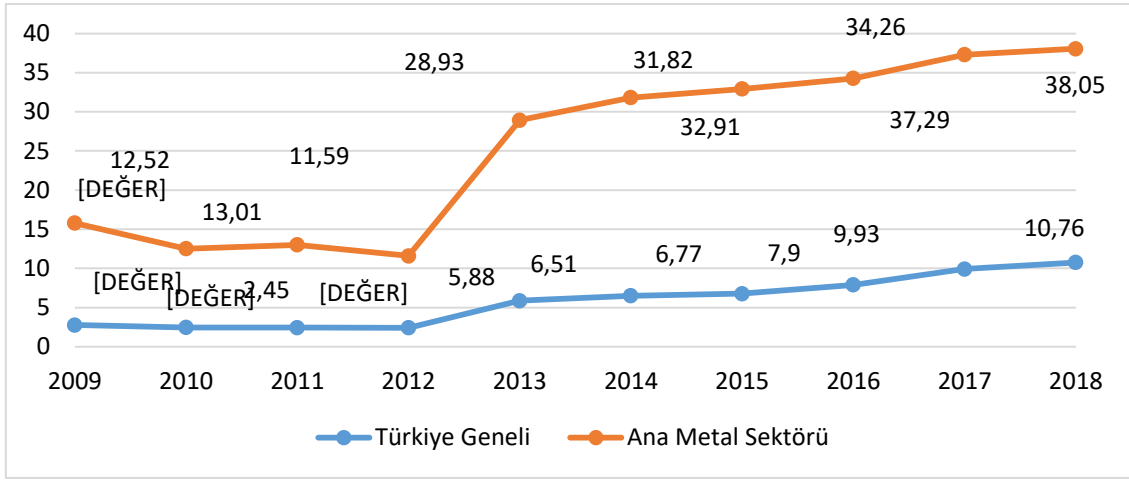


Şekil 6. Geçici iş göremezlik kaza sıklığı dağılımı

Ülkedeki gerçekleşen toplam iş kazası sayılarıyla bir sektöre ait çalışan sayılarının birlikte değerlendirilerek hesaplandığı standardize iş kazası oranlarına ait hesaplanan değerler Şekil 7’de gösterilmiştir. Sektörel olarak karşılaştırma yapmaya yarayan standardize iş kazası oranlarının incelenmesiyle ülke genelinde yaşanan iş kazalarının standardize oranı 100 olarak alındığında ana metal sektöründe iş kazalarında yoğunluğun en fazla yaşandığı yılın 2009 olduğu hesaplanmıştır. Ana metal sektörünün standardize iş kazası oranlarının incelenen dönem boyunca ülke genelinin çok üstünde olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 7. Standardize iş kazası oranları dağılımı



Şekil 8. İş kazası sıklık hızı dağılımı

Tablo 5'te Türkiye'deki ve ana metal sektöründeki resmi istatistik verilerine göre hesaplanarak elde edilen iş kazası sıklık hızları yıllara göre verilmiştir. Ana metal sektöründe gösterilen prime tahakkuk eden gün sayısı, ülke genelinde hesaplanan sene için çalışan başına düşen ortalama prim tahakkuk eden gün sayısının sektörün çalışan sayısı ile çarpılması sonucu bulunmuştur.

Tablo 5'te verilen iş kazası sıklık hızlarının incelenen dönem boyunca dağılımları Şekil 8'de gösterilmiştir. 2009'dan 2012'ye kadar Türkiye genelindeki iş kazası sıklık hızlarında bir önceki yıla göre azalma yaşanmasına rağmen 2012'den sonra önemli bir artış yaşanmıştır. 2018'de bir milyon iş saatinde ülkede ortalama 10 iş kazası gerçekleşmişken ana metal sektöründe ise 38 iş kazası gerçekleşmiştir. 2012'den sonra ana metal sektörü için iş kazası sıklık hızı değerleri sürekli artış göstermektedir. Türkiye genelinde iş kazası sıklık hızının, on yıllık periyodun geneline bakıldığında artış gösteren bir eğilim izlediği ortaya konmuştur.

Tablo 5. İş kazası sıklık hızı

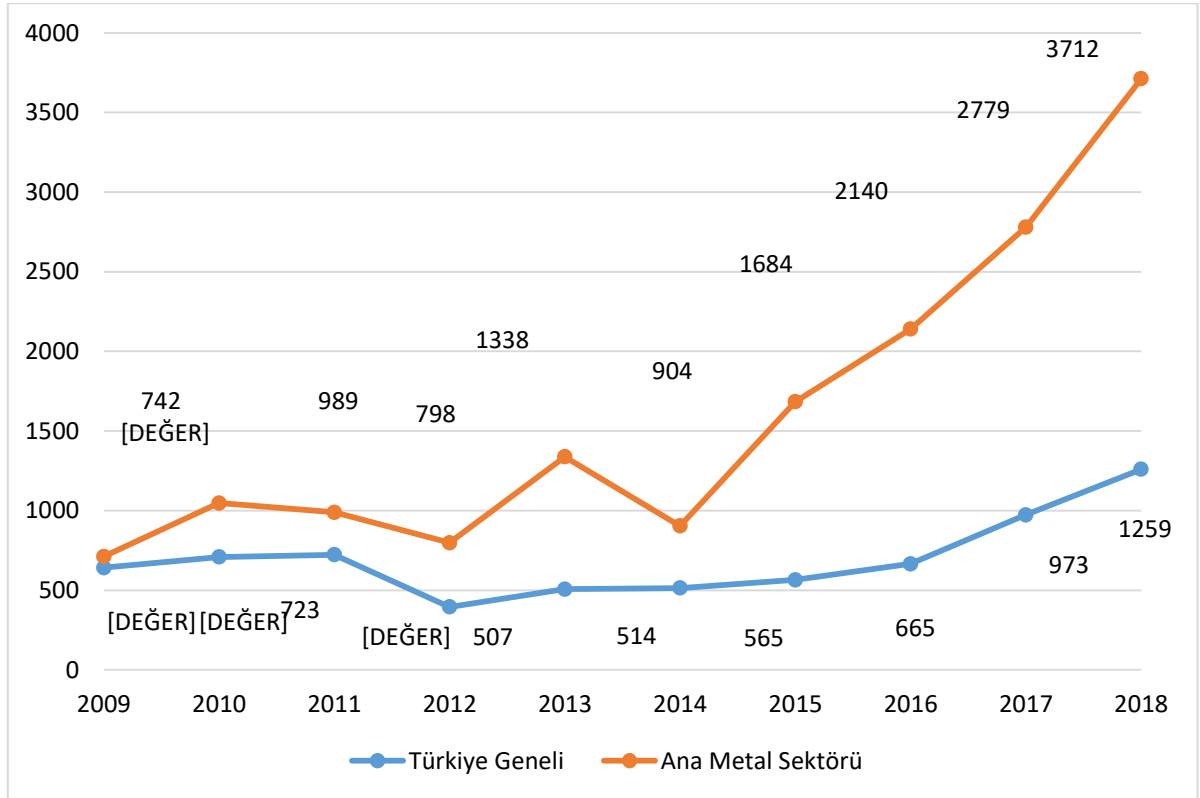
| Yıllar | Çalışan Sayısı | | İş Kazası Sayısı | | Pirim Tahakkuk Eden Gün Sayısı | | İş Kazası Sıklık Hızı (1.000.000 iş saati) | |
|--------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--|-------------------|
| | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü |
| 2009 | 9030202 | 118109 | 64316 | 4819 | 2915404372 | 38131538 | 2,76 | 15,79 |
| 2010 | 10030810 | 145014 | 62903 | 4621 | 3190289762 | 46121567 | 2,46 | 12,52 |
| 2011 | 11030939 | 158175 | 69227 | 5272 | 3532389503 | 50651690 | 2,45 | 13,01 |
| 2012 | 11939620 | 164795 | 74871 | 4938 | 3855795100 | 53219093 | 2,43 | 11,59 |
| 2013 | 12484113 | 159842 | 191389 | 12061 | 4069831784 | 52108632 | 5,88 | 28,93 |
| 2014 | 13240122 | 151253 | 221366 | 12357 | 4248428182 | 48533352 | 6,51 | 31,82 |
| 2015 | 13999398 | 149301 | 241547 | 12529 | 4462091444 | 47587383 | 6,77 | 32,91 |
| 2016 | 13775188 | 145268 | 286068 | 13081 | 4524501578 | 47713707 | 7,90 | 34,26 |
| 2017 | 14477817 | 168084 | 359653 | 15670 | 4524383875 | 52527016 | 9,93 | 37,29 |
| 2018 | 14229170 | 162481 | 430985 | 17403 | 5006245563 | 57165652 | 10,76 | 38,05 |

Tablo 6'da Türkiye'deki ve ana metal sektöründeki incelenen dönem boyunca istatistiksel verilerden faydalanılarak hesaplanan iş kazası ağırlık hızları, Şekil 9'da ise incelenen dönem boyunca değişimleri gösterilmiştir. Ana metal sektöründeki sürekli iş göremezlik dereceleri; Türkiye genelinde verilen sürekli iş göremezlik sayılarının, sürekli iş göremezlik dereceleri toplamına olan oranından yararlanılarak hesaplanmıştır. İş kazası ağırlık hızları; ülkedeki, bir sektördeki ya da bir işletmedeki iş

kazalarının önem ve ciddiyet derecelerini belirtmektedir. Ana metal sektörüne ait iş kazası ağırlık hızları ülke genelinin incelenen 10 yıllık süre boyunca üstünde çıkmıştır. 2013 yılında sektörün iş kazası ağırlık hızı oranı Türkiye genelinin yaklaşık 2,5 katı olduğu hesaplanmıştır. Türkiye’de 2013 yılında bir milyon saatte iş kazaları sebebiyle 507 iş günü kaybı yaşanırken ana metal sektöründe 1.338 iş günü kaybı yaşanmıştır.

Tablo 6. İş kazası ağırlık hızı

| Yıllar | Geçici İş Göremezlik Süresi (gün) | | Sürekli İş Göremezlik Sayısı (gün) | | Sürekli İş Göremezlik Derecesi Toplamı | | Ölümlü Vaka Sayısı | | İş Kazası Ağırlık Hızı (gün) | |
|--------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü | Türkiye Geneli | Ana Metal Sektörü |
| 2009 | 1572106 | 94648 | 1668 | 39 | 61300 | 1433 | 1171 | 2 | 641 | 712 |
| 2010 | 1502871 | 91141 | 1976 | 40 | 75833 | 1535 | 1454 | 24 | 709 | 1047 |
| 2011 | 1757422 | 108958 | 2093 | 56 | 78054 | 2088 | 1710 | 18 | 723 | 989 |
| 2012 | 1657127 | 91975 | 2036 | 71 | 66039 | 2302 | 1745 | 10 | 395 | 798 |
| 2013 | 2357505 | 152657 | 1660 | 63 | 52825 | 2004 | 1360 | 34 | 507 | 1338 |
| 2014 | 2065962 | 139804 | 1421 | 47 | 42857 | 1417 | 1626 | 14 | 514 | 904 |
| 2015 | 2992070 | 177320 | 3433 | 135 | 103833 | 4083 | 1252 | 21 | 565 | 1684 |
| 2016 | 3453702 | 188489 | 4447 | 178 | 134403 | 5379 | 1405 | 30 | 665 | 2140 |
| 2017 | 3996873 | 227146 | 3987 | 152 | 252916 | 9642 | 1633 | 29 | 973 | 2779 |
| 2018 | 2488001 | 141737 | 3773 | 128 | 484791 | 16446 | 1541 | 43 | 1259 | 3712 |



Şekil 9. İş kazası ağırlık hızı dağılımı

3.2. Türkiye’de Ana Metal Sektöründe Teftiş Sayılarının Değerlendirilmesi

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı’na sunulan "Çalışma Hayatı İstatistikleri"nden alınan Türkiye’deki ve metal sektöründeki 2009-2018 yılları boyunca on yıllık periyotta yapılan teftişlerin

sayıları ve hesaplanan yüzdeler Tablo 7’de gösterilmiştir. Teftiş verileri ana metal sektörü yerine metal sektörü üst sektöründe yayınlandığı için ana metal sektörü yerine tablolarda metal sektörünün verileri kullanılmıştır. Bu sebeple Tablo 7’de kullanılan verilerde işyeri sayısı ve çalışan sayısı ana metal sektörü değil metal sektörüne ait verilerden oluşmaktadır. Toplam teftiş sayısı ve teftişle çalışan sayısı verileri de firmaların NACE (Avrupa Birliği’nde Ekonomik Faaliyetlerin İstatistikî Sınıflaması) kodlarına göre değil yaptıkları faaliyete göre yayınlanmış olduğu için farklı NACE koduna sahip olup metal sektörü teftişleri kapsamında denetimleri gerçekleştiren işyerleri de sayıya dahil edilmiştir. Verilen teftiş sayıları ve yüzdeleri incelendiğinde; Türkiye’deki toplam teftiş sayılarında 2013’e kadar düzenli azalış yaşanırken teftiş edilen çalışan sayısında da 2010 yılından 2013 yılına kadar düzenli olarak azalma yaşanmıştır. Tablo 7’de ki verilerde metal sektörü teftiş sayılarında 2009-2015 yılları arasında düzenli olarak azalma görülmüştür. Sektörde 2009 yılında 39.981 adet işyeri teftiş edilirken 2018 yılında bu sayı 42.223 olup 2011’de çalışanların %65’inin teftişi yapılırken 2018’de ise çalışanların %60’ının teftişi yapılmıştır. Teftişlerde incelenen iş kazası sayısında da önemli miktarda azalış yaşanmıştır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2020).

Tablo 7. İş sağlığı ve güvenliği teftişi

| Yıllar | Türkiye Geneli | | | | | | | Metal Sektörü | | | | | | |
|--------|----------------|----------------------|------|----------------|-------------------------|------|----------------------------|---------------|----------------------|------|----------------|-------------------------|------|----------------------------|
| | İşyeri Sayısı | Toplam Teftiş Sayısı | Oran | Çalışan Sayısı | Teftişle Çalışan Sayısı | Oran | İncelenen İş Kazası Sayısı | İşyeri Sayısı | Toplam Teftiş Sayısı | Oran | Çalışan Sayısı | Teftişle Çalışan Sayısı | Oran | İncelenen İş Kazası Sayısı |
| 2009 | 1216308 | 23446 | 2% | 9030202 | 875186 | 10% | 5599 | 39981 | 5251 | 13% | 442865 | 243770 | 55% | 1605 |
| 2010 | 1325749 | 17284 | 1% | 10030810 | 2211717 | 22% | 7822 | 38104 | 5005 | 13% | 468665 | 540707 | 115% | 1478 |
| 2011 | 1435879 | 15902 | 1% | 11030939 | 1548973 | 14% | 4222 | 39605 | 3890 | 9% | 515932 | 333746 | 65% | 698 |
| 2012 | 1538006 | 11533 | 1% | 11939620 | 1069622 | 9% | 251 | 40101 | 3540 | 9% | 522636 | 296368 | 56% | 41 |
| 2013 | 1611292 | 8858 | 1% | 12484113 | 841216 | 7% | 286 | 41226 | 2249 | 5% | 535918 | 252955 | 47% | 57 |
| 2014 | 1679990 | 14174 | 1% | 13240122 | 1101484 | 8% | 363 | 42943 | 2127 | 5% | 546367 | 314053 | 57% | 97 |
| 2015 | 1740187 | 13296 | 1% | 13999398 | 1144387 | 8% | 285 | 42986 | 1879 | 4% | 542939 | 254206 | 46% | 37 |
| 2016 | 1749240 | 14287 | 1% | 13775188 | 1123146 | 8% | 328 | 42479 | 2328 | 5% | 528706 | 279105 | 52% | 58 |
| 2017 | 1874682 | 10804 | 1% | 14477817 | 93961 | 6% | 217 | 42511 | 1675 | 4% | 547665 | 279803 | 51% | 51 |
| 2018 | 1879771 | 12649 | 1% | 14229170 | 1062130 | 7% | 116 | 42223 | 4368 | 10% | 527027 | 315947 | 60% | 13 |

3.3. Türkiye ile AB Ülkelerinin Ana Metal Sektöründe İş Kazası Sayılarının Karşılaştırılması

Ana metal sektöründe çalışan sayılarına göre ön planda olan Avrupa Birliği üye ülkeleriyle ve Türkiye’deki iş kazası sıklığı verileri Şekil 10’da gösterilmiştir. Avrupa ülkelerinin 2009-2018 dönemi boyunca iş kazası sıklık değerleri ele alındığında Portekiz ve İspanya’da yüksek değerler gözlenmektedir. Ülkemiz ise 2012 yılına kadar sıklık değerlerinde bu iki ülkenin gerisinde olup 2013, 2016 ve 2017 yıllarında Portekiz’in ardından ikinci sırada yer almaktadır. 2014, 2015 ve 2018 yıllarında Türkiye ele alınan Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde ilk sırada bulunmaktadır. 2012 yılında ülkemizde çıkartılan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’yla birlikte yapılan mevzuat değişiklikleri sonucunda iş kazası sıklık değerlerinde artış görülmüştür. Bu artış sebebiyle 2013’te ana metal sektöründe 7.545 iş kazası sıklık değeri ile 11.574 sıklık değerine sahip Portekiz’in ardından ikinci kötü performans olarak ülkemiz yer almıştır. Şekil 10’dan da görüleceği üzere iş kazası sıklık değerleri bakımından Türkiye’de 2012’ye kadar İtalya, İngiltere ve Almanya gibi gelişmiş Avrupa Birliği üye

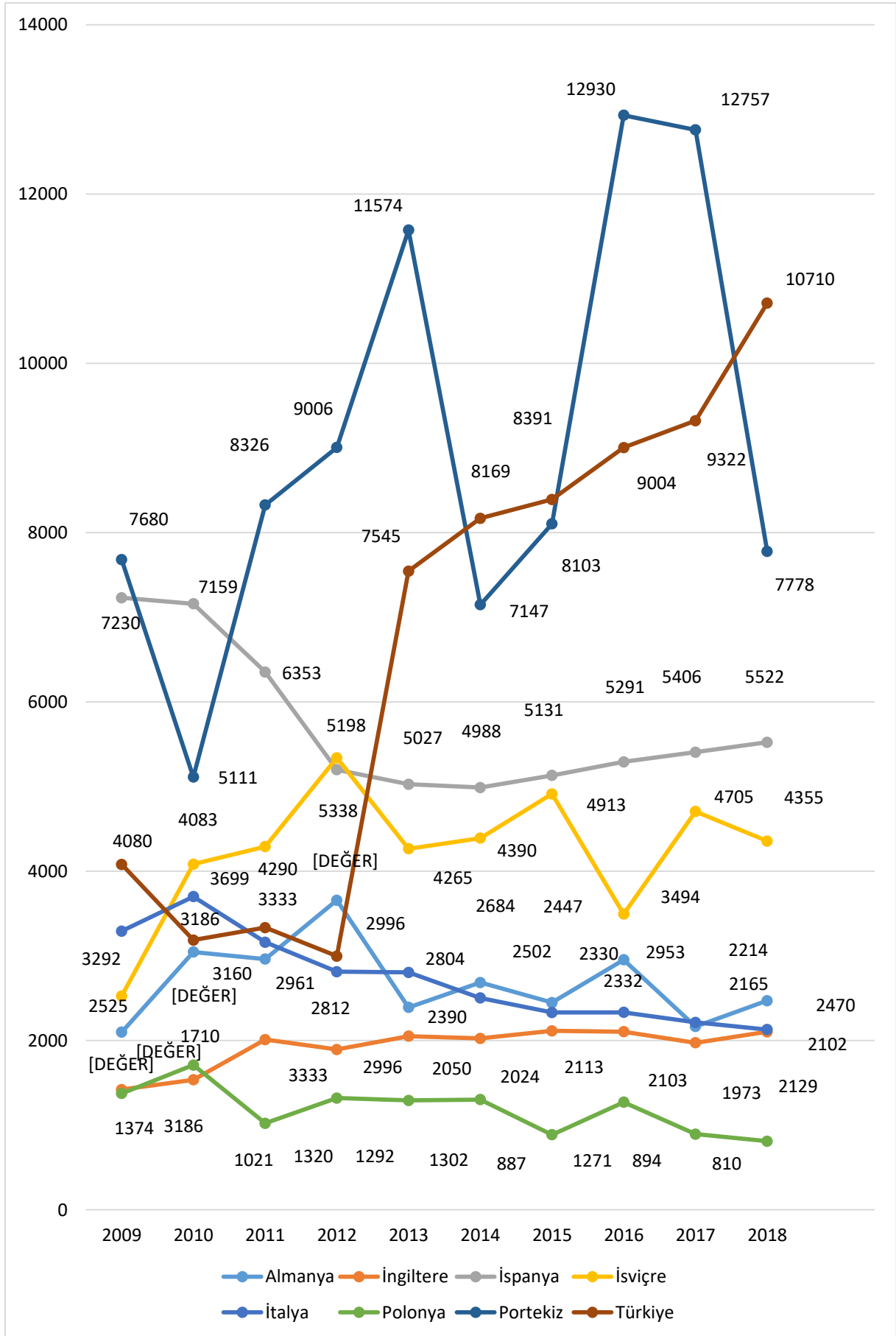
ülkelerine yakın değerler gözlenmiştir. 2012-2018 yılları arasında ülkemizde kaza sıklık değerlerinde önemli artışlar yaşanmıştır. Öte yandan Polonya gibi bazı Avrupa Birliği üye ülkelerinde kaza sıklık değerlerinde yıllara göre önemli değişiklikler gözlenmemekle beraber düşük seviyelerde sıklık değerleri görülmektedir. Bazı Avrupa Birliği üye ülkelerinde iş kazalarının tam olarak kayıt altına alınamamış olabileceği ihtimali de düşünülmeli ve açıklanan veriler buna göre değerlendirilmelidir (Eurostat European Commission, 2013; European Statistical Office; 2020).

3.4. 2014 ve 2017 Yıllarında Ana Metal Sektöründe Gerçekleştirilen İş Sağlığı ve Güvenliği Teftişlerinde Karşılaşılan Uygunsuzluklar

2014 yılına ait gerçekleştirilen teftişlerde işverenlerin beyanı üzerine teftiş edilen 326 işletmede ortalama 8'er adet iş kazası yaşandığı ve 151'er gün kayıp iş günü olduğu raporlanmıştır. Yaşanan kazaların meydana gelme sebepleri incelendiğinde; çapak fırlaması, kişilerin sıkışması, yüksekte parçaların ve kişilerin düşmesi, yanıklar, elektriğin çarpması, toksik özellikte kimyasallara maruziyet, aşırı yüksek sıcaklıkta çalışma gibi sebepler karşımıza çıkmaktadır. Çelikhane ile haddehane kısımlarında en çok iş kazalarına rastlanmakta olup atölye ve bakım hanelerde de çok sık kaza olduğu görülmüştür (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014).

2014 yılında sektörde gerçekleştirilen İSG teftişlerinde en çok görülen uygunsuzluklar 3.069 adet ile iş ekipmanlarında karşılaşılan uygunsuzluklar olup 2.sırada ise 2.285 uygunsuzluk ile işyeri bina ve eklentilerinde karşılaşılan uygunsuzluklar olduğu tespit edilmiştir. 2014 yılında teftişi gerçekleştirilen 326 işletmede toplam 7.949 uygunsuzluk belirlenmiş olup Tablo 9'da belirtilmiştir (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2014).

2017 yılında ana metal sektöründe gerçekleştirilen İSG teftişlerinde toplam 6.998 adet uygunsuzluk tespit edilmiştir. Tespit edilen uygunsuzlukların konularına göre dağılımları Tablo 8'de verilmiştir (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2017).



Şekil 10. Türkiye ve Seçili AB Ülkeleri Ana Metal Sanayi İş Kazası Sıklık Değerleri

Tablo 8. 2017 yılı ana metal sektöründe gerçekleştirilen İSG teftişlerinde işyerlerinde tespit edilen uygunsuzlukların konularına göre dağılımları

| Uygunsuzluğun Konusu | Uygunsuzluk Sayısı |
|---|---------------------------|
| Risk Değerlendirmesi | 393 |
| Acil Durum Planı / Tatbikat | 322 |
| Çalışan Temsilcisi | 52 |
| İSG Kurulu | 16 |
| İş Güvenliği Uzmanı | 41 |
| Operasyon Noktası Koruyucusu | 709 |
| Parça / Talaş Fırlaması | 369 |
| Durdurma Sistemler | 197 |
| Bakım Onarım | 97 |
| Lokal Havalandırma | 241 |
| Elektrik / Kaçak Akım / Gövde Güvenlik Topraklaması | 602 |
| Paratoner | 18 |
| Sıcak Yüzeyle Temas | 41 |
| Ergonomi | 59 |
| Sesli Işıklı İkaz | 133 |
| Çalışma Talimatları | 144 |
| Operatör Belgesi | 37 |
| Kaldırma İletme Ekipmanları Noksanları | 560 |
| Tesisatlar Periyodik Kontrol | 475 |
| Basınçlı Kaplar Periyodik Kontrol | 241 |
| Kaldırma İletme Ekipmanları Kontrol | 341 |
| Periyodik Kontrol Uygunsuzlukları | 439 |
| Acil Çıkış Yolları ve Kapıları | 157 |
| İşyeri Aydınlatması | 25 |
| Trafik Yolları ve Tehlikeli Alanlar, Yükleme Yeri, Rampalar | 225 |
| Kişisel Koruyucu Donanım | 42 |
| Tüplerin Depolanması / Devrilmesi | 192 |
| Ortam Ölçümleri | 14 |
| Patlama İle İlgili Riskler / Patlamadan Korunma Dokümanı | 429 |
| Kimyasalların Depolanması ve Taşınma | 141 |
| Yangın Önlemleri | 205 |
| Diğer Hususlar | 41 |
| TOPLAM | 6.998 |

Tablo 9. 2014 yılı ana metal sektöründe gerçekleştirilen İSG teftişlerinde işyerlerinde tespit edilen uygunsuzlukların konularına göre dağılımı

| Uygunsuzluğun Konusu | Uygunsuzluk Sayısı |
|---|---------------------------|
| Basınçlı Ekipmanlar | 233 |
| Kaldırma İletme Ekipmanları | 283 |
| Elektrik ve Topraklama Tesisatı | 362 |
| Makine Koruyucuları | 839 |
| İş Ekipmanlarına İlişkin Diğer Uygunsuzluklar | 1.352 |
| Toplam-İş Ekipmanlarına İlişkin Uygunsuzluklar | 3069 |
| Acil Çıkış Yolu ve Kapısı | 132 |
| Yangına Karşı Alınacak Tedbirler | 202 |
| Havalandırma Tesisatı | 173 |
| Tehlikeli Alanlar ve Ulaşım Yolları | 345 |
| Lavabolar, Duşlar ve Soyunma Odaları | 183 |
| İşyeri Bina ve Eklentilerine İlişkin Diğer Uygunsuzluklar | 1.250 |
| Toplam-İşyeri Bina Eklentilerine İlişkin Uygunsuzluklar | 2285 |
| Gürültü Ölçümleri | 103 |
| Tozlu Ortam Ölçümleri | 79 |
| Gaz ve Kimyasala Ölçümleri | 56 |
| Aydınlatma Ölçümleri | 72 |
| Titreşim Ölçümleri | 9 |
| Toplam-Ortam Ölçümlerine İlişkin Uygunsuzluklar | 319 |
| İSG Eğitimi | 106 |
| İş Güvenliği Uzmanı | 48 |
| İş yeri Hekimi | 61 |
| Risk Değerlendirme Raporu | 122 |
| Acil Durumlar Hakkında Uygunsuzluklar | 452 |
| Kimyasal Maddelere İlişkin Uygunsuzluklar | 371 |
| Sağlık ve Güvenlik İşaretlerinin Uygunsuzlukları | 261 |
| İşe Giriş ve Periyodik Sağlık Raporlarının Uygunsuzlukları | 163 |
| Kulak Koruyucuları | 40 |
| Gözlükler | 55 |
| Yanmaz Önlükler | 33 |
| İş Elbiseleri | 41 |
| Diğer Kişisel Koruyucular | 155 |
| Toplam-Kişisel Koruyucuların Kullanımlarına İlişkin Uygunsuzluklar | 324 |
| Diğer Hususlar | 368 |
| TOPLAM | 7949 |

3.5. İş Ekipmanlarıyla İlgili Çözüm Önerileri

Kaldırma-iletme ekipmanları, basınçlı kaplar ve tesisatların periyodik kontrolleri en az yılda 1 kez mevzuatlarda belirtildiği şekilde veya mevzuatlarda olmayan durumlarda ilgili TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından yayımlanan standartlar veya EU (European Norm) standartlarında açıklanan kriterlere göre belirtilen yetkili kişiler tarafından ilgili hususlara uygun olarak gerçekleştirilip raporlanmalıdır (İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları, 2013).

Basınçlı kapların (kalorifer kazanı, buhar kazanı ve kompresör hava tankı vb.), diğer basınçlı ekipmanların (taşınabilir gaz tüpleri) ve elektrik, topraklama vd. tesisatların periyodik kontrolleri İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'yla birlikte bu alanda çıkartılmış yönetmelikler ve tebliğlere dayanarak yaptırılmalıdır. Basınçlı kaplar ve diğer tesisatlar için TSE EN 9712 ile geçerli diğer standartlar göz önünde bulundurularak kontrolleri yaptırılmalı ayrıca kontrol sonucunda tespit edilen eksikler ve aykırı durumlar için gerekli düzeltici faaliyetler gerçekleştirilerek tekrar periyodik kontrollerinin yaptırılarak raporlanmaları gerekmektedir. Yapılacak olan kontrollerde basınçlı kaplar için test, deney ve muayene kapsamında hidrostatik test yapılması gereklidir. Hidrostatik testin yanında emniyet ventili testinin yapılması da esastır. İşletme basıncının ilgili iş ekipmanı için 1,5 katı basınç ile hidrostatik test işlemi, işletme basıncının 1,1 katı basınç ile de emniyet ventili testleri gerçekleştirilir. Test sonuçlarına göre herhangi bir aykırı duruma rastlandığı takdirde kontrol raporunda bu eksiklik belirtilmelidir (İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları, 2013; Hacımustafaoğlu, 2019).

Vinç, asansör, forklift vd. kaldırma ve iletme ekipmanlarında periyodik kontroller İSG mevzuatının ilgili hükümlerine göre TS EN 9712 ve diğer geçerli standartlar göz önünde bulundurularak yaptırılmalıdır. Tüm kaldırma ve iletme ekipmanları için periyodik kontrollerde statik ve dinamik yük testleri yaptırılması gerekmektedir. Statik yük testleri beyan edilen yük kapasitesinin 1,25 katı ile gerçekleştirilirken, dinamik yük testleri ise 1,1 katı yük ile gerçekleştirilmelidir. İnsan ve yük taşıyan asansörler için periyodik kontroller kaldırma ve iletme ekipmanlarından ayrı olarak asansörle ilgili mevzuatlar çerçevesinde çıkarılmış yönetmelik ve tebliğlerde belirtilen hususlara göre yaptırılmalıdır (İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği, 2013; Hacımustafaoğlu, 2019).

İş ekipmanlarında operatör kumanda ettiği noktada ekipmanın tehlikeli bölgesinde kimsenin olmadığından emin olmalıdır. Gerekli ışıklı uyarıcı sinyal ve sesli ikazların yapılması gereklidir. Çalışan kişiye zarar vermeyecek şekilde iş ekipmanı çalışırken herhangi bir el, kol kaptırma veya sıkışma durumlarının önüne geçilecek ek güvenlik önlemleri alınmalıdır. İş ekipmanlarının istem dışı hareketlerini önleyecek sistemlerin tam olarak bulundurulması gereklidir. Preslerde, paketleme tezgahında çift el ile çalışan kumanda sistemi olmalıdır. Ayak pedalıyla çalışan tezgahlarda pedal koruyucuları olmalıdır. Makine, tezgah ve bantlarda çalışılmadan önce kendiliğinden devreye giren uyarı sistemleri olmalıdır. Forkliftlerde geri vites sesli sinyal sistemleri ve dikiz aynaları bulunmalıdır. İşletmelerde bulunan makina ve tezgahları aniden durduracak acil durdurma tertibatları bulunmalıdır.

Vinçlerde üst sınır durdurucusu olmalıdır. Torna tezgahında siperlik bulunmalıdır. İş ekipmanlarının üzerlerinde kullanma talimatları hazır bulundurulmalıdır. Elektrik odasında elektrik kesme ve devreye alınma durumları için talimat olmalıdır. Kazan dairelerinde devreye alınma ve çıkarılma durumları için talimat bulunmalıdır (Nakada, 1997).

Makinaların kullanımında tehlikeli kısımlar; hareket eden, sıcak temas riski bulunan vd. zarar verebilecek bölümlere ait etrafa vereceği zararlara karşı ve çalışanlara olumsuz etkilerinin önüne geçmek için koruyucu tertibatların olması gereklidir. Geçitlere ve ara yollara bakan makina ve tezgahlar için talaş fırlamalarına karşı gerekli tedbirler alınmalıdır. Vinçlerin kancalarında emniyet mandalı olmalıdır. Kayış-kasnak, zincir dişli gibi sıkışma ve kapma durumlarının olabileceği kısımlar koruyucu içine alınmalıdır. Makinaların operasyon noktalarında kapaklar açıldığında çalışmasını durduracak şalter sistemleri takılı olmalıdır. Şerit testerelerde uygun testere koruyucusu bulundurulmalıdır (Brinksmeier ve ark., 2015; Harris ve Current, 2012).

Metal işleme proseslerinde kullanılan makinalarda da farklı tehlikeler bulunmaktadır. Kayış-kasnak, dişli çark sistemleri gibi kısımlarda el kol ve uzuv kaptırma durumlarına; ağır malzemeler arasında sıkışma, ezilme durumlarına maruz kalınmakta ve sonucunda kazalar yaşanmaktadır. Makina ile bir malzeme arasında kalmak suretiyle de kazalar yaşanmaktadır. Zımpara taşları, el matkapları gibi küçük el aletleri de tehlike oluşturmaktadır. El aletleriyle yapılan işlerde kesilme durumlarına rastlanmaktadır. Diğer bir tehlike ise dönen aksamlara kapılıp dolanma sonucu oluşan kazalardır. Çalışanların iş esnasında uygun elbiseler giymesi ve dikkatli olması tüm bu tehlikelere karşı önlem açısından gereklidir. Dönen parçalarda kapma tehlikesi olan yerlerde çalışanlar bol elbise ve uzun kıyafetler tercih etmemelidir. Kayış kasnak, zincir dişli gibi kısımlardan çalışanların kendilerini koruması için; dönen aksam koruyucularının takılması kazaların engellenmesi açısından önemlidir. Makinaların güvenli çalışması için takılmış olan sensör tertibatları devre dışı bırakılmamalıdır. İki el kumanda tertibatları olmadan presler çalıştırılmamalıdır. Makine ve aletlerin bakımları tam, eksiksiz şekilde ve zamanında yapılmalı ayrıca çalışma esnasında kişisel koruyucu donanımların çalışanlar tarafından giyilmesi gerekmektedir (Olagbegi ve ark., 2013; Makinelerde Mekanik Tehlikeler, 2018).

3.6. Fiziksel Risk Etmenleri ve Çözüm Önerileri

3.6.1. Termal konfor

Sıcaklık, nem ve hava akımı gibi etmenler termal konfor üzerinde etkileyicidir. Çalışanlara yaptıkları iş esnasında konforlu ve rahat bir çalışma ortamı sağlanması için termal konfor şartlarının ayarlanması önemlidir. Ana metal sektöründe yüksek ısıda metal ergitme işlemleri yapıldığı için 1500 derece ve üstündeki sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Ulaşılan yüksek sıcaklık değerlerinden dolayı çalışanların sağlıklarını olumsuz etkileyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Çalışma ortamından kaynaklı çeşitli fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar çalışanlar üzerinde etkili olmaktadır. Havalandırmaların yeterli düzeyde sağlanmaması, termal konfor şartlarına uygun kıyafetlerin giyilmemesi sonuçlarında iş yapan kişilerde olumsuz etkilerin arttığı görülmektedir (Yeşilgöz ve Adanır, 2018).

Hava akımı da çalışanlar üzerinde sıcaklık kadar önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Yüksek sıcaklık sebebiyle terleyen çalışanlar hava akımı sonucunda soğuk algınlığı gibi solunum yolu rahatsızlıklarına yakalanmaktadır. Kaynak işlemleri, proseslerin çeşitli aşamalarında yüksek sıcaklıkta olan metallere işlem yapılması, lehim işlemleri, döküm işlemleri gibi faaliyetlerde çalışanların yüksek sıcaklığa sürekli maruz kaldığı düşünüldüğünde birtakım olumsuzlukların ana metal sektöründe her zaman yaşanabileceği unutulmamalıdır. Termal konfor şartlarının uygun seviyelerde tutulmasına, çalışanların işlerini gerçekleştirirken dikkatli olmalarına ve kişisel koruyucu donanımların tam ve eksiksiz şekilde kullanılmasına özen gösterilmelidir (Yeşilgöz ve Adanır, 2018).

3.6.2. Gürültü

85 desibel ve üstü sesler çalışma ortamında istenmeyen sesler olarak karşımıza çıkmakta olup bu gürültü düzeylerinde çalışanlarda bir takım sağlık problemleri ortaya çıkmaktadır. Hem fiziksel olarak hem de psikolojik olarak gürültünün insan sağlığı üzerinde etkileri olabilmektedir. Çalışanlarda işitme kayıplarının yaşanması, yaptığı işe konsantre olamama, dikkat dağınıklığı, stres gibi sonuçlar ile gürültünün olumsuz etkileri görülmektedir. Aynı zamanda yüksek gürültü ile çalışma sonucu iş veriminin de olumsuz etkileneceği göz önüne alınmalıdır. Uyku düzenini de etkileyen gürültü kişide uykuya dalma güçlüğü yaşanmasıyla kendini gösterebilmekte olup sadece işyerinde sınırlı kalmayıp çalışanların yaşam kalitesini de etkilemektedir. Sinir sistemine de etkileri olan gürültü kişinin davranış bozukluklarına, aşırı sinirlenme ve kızgınlık durumu gibi birçok psikolojik etkilere sebep olabilmektedir. Kan basıncının artması ve dolaşım sistemi rahatsızlıkları gibi gürültünün farklı etkileri de ortaya çıkabilmektedir. Çalışanların verilmiş olan koruyucu donanımları kullanmaları son derece önemli olup işyerlerinde gürültü ile kaynağında mücadele etmek ve üretim hattında teknolojik yenilemelerin yapılması gürültü ile mücadelede dikkat edilmesi gereken hususları oluşturmaktadır (Altıparmak, 2014).

3.6.3. Titreşim

Çalışanların dolaşım sistemlerinde ve kas iskelet sistemlerinde rahatsızlıklara neden olan titreşim maruziyeti çalışanların sinirlerinde, kas ve eklemlerinde ve damarlarında tahribata neden olmaktadır. Titreşime uzun süre ve yüksek düzeyde maruz kalan çalışanlarda pek çok rahatsızlık ortaya çıkmaktadır. Eklemlerde özellikle el ve kollarda deformasyon meydana gelmektedir. Uzun süre el-kol titreşimine maruz kalanlarda beyaz parmak sendromu olarak bilinen bir rahatsızlık meydana gelmektedir. Parmaklarda kan akışının azalması, parmaklarda ağrılar ve kramplar, parmakların duyusunu yitirmesi ve parmağın beyazlaması şeklinde kendini gösteren bir rahatsızlık olarak karşılaşılmaktadır. Soğuk hava veya soğuk cisimler ile temas parmakların daha fazla ağrmasına sebep olmaktadır. Hastalık ilk aşamalarında karıncalanma şeklinde kendini gösterirken daha sonraki aşamalarda titreşime maruziyet kesilse bile geri dönüşü olmayan bir hastalık haline gelmektedir.

Sıklıkla titreşim kaynağı olarak el aletlerini kullananlarda görülen bir rahatsızlıktır (Edwards ve Holt, 2006).

İşyerlerinde makina ve el aletleri seçimi yapılırken titreşim hususunda dikkatli seçimler yapılması gerekmekte olup titreşimle kaynağında mücadele etme yoluna gidilmelidir. Titreşimden uzak kalabilmek için çalışanların kişisel koruyucu donanım kullarımlarına özen göstermeleri gerekmektedir (Edwards ve Holt, 2006).

3.6.4. Aydınlatma

Tüm çalışma alanlarında olduğu gibi ana metal sektörü çalışanlarında da aydınlatma konforu önem arz etmektedir. Işık, çalışanın gözünü rahatsız etmeyecek düzeyde olmalı, ortama eşit miktarda dağıtılmalı ve çalışanın gözünü kamaştırarak şiddette olmamalıdır. Asıl iş ve işlemlerin yapıldığı yerler olan makineli alanlar iyi aydınlatılmalı, çalışanın yaptığı işi ve çevresini rahatça görebilmesi sağlanmalıdır. Özellikle ince işçiliğin yapıldığı alanlar iyi aydınlatılmalı, çalışanın aydınlık bir ortamda işini yapmasına özen gösterilmelidir. Sadece makine ve teçhizatların kullanıldığı alanlar değil; yürüyüş yolları, merdivenler ve kapılar da iyi aydınlatılması gereken yerler içerisine girmektedir (Kahya ve ark., 2018).

3.6.5. Radyasyon

Sıcak cisimlerden ortama yayılan ışınlar infrared ışınlar olarak ortaya çıkmaktadır. Ana metal sektöründe yüksek sıcaklıktan dolayı ortaya çıkan aşırı ısınma etkisiyle çalışanların daha fazla infrared ışınlara maruz kalması söz konusudur. Sıcak metaller, elektrik ark kaynakları, lazer makinaları, fırınlar infrared ışın kaynaklarıdır. Metallerin işlem aşamalarında şekil vermek için yüksek sıcaklıkta ısı işlemler uygulanmaktadır. Yüksek ısıda korlaşan metal maddeler etraflarına ısı ve ışınlar yayarlar. Katarakt oluşumu yüksek infrared ışınların etkisi sonucu oluşan bir rahatsızlık olarak görülmektedir. Gözün sıvısının tükenmesine ve erken dönemlerde kişide katarakt görülmesine sebep olmaktadır. Bu hastalık aynı zamanda cam üfleiyici kataraktı olarak bilinmektedir. Bu tarz alanlarda çalışan kişilerde; erkeklerde “spermatogenez bozukluğu” rahatsızlığına da rastlanmaktadır. Radyasyona maruz kalma miktarı ve süresinin azaltılması buna ilave olarak kaynağında korunma tedbirlerinin alınması, kaynağa fazla yaklaşımlardan kaçınılması radyasyona karşı alınacak önlemler arasında sıralanmaktadır. Ayrıca radyasyondan koruyucu paravanlar, koruyucu elbiseler, başlık, eldiven ve gözlük kullanılması da çalışanlar açısından ihmal edilmemesi gereken hususlar arasında yer almaktadır (İş Sağlığı ve Güvenliği İyileştirme Projesi, 2015a).

3.7. Kimyasal Risk Etmenleri ve Çözüm Önerileri

Ana metal sektöründe kaynak ve kesme işlemleri en çok tehlikeyi içerisinde barındıran ve çalışanların en fazla etkilendiği durumların başında gelmektedir. Gerçekleşen bu çalışmalarda yüksek sıcaklık ve basınç oluşması, ortama zehirli gazların ve metal kaynaklı dumanların salınması ile metal buharlarının

yayılmasına sebep olmaktadır. Kaynak gazlarını ihtiva eden dumanın sebep olduğu hastalıklar kalp, akciğer, böbrek gibi organları etkileyerek merkezi sinir sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Kaynak işleminde alınması gereken en önemli tedbir yeterli havalandırmanın tesis edilmiş olması ve bu sayede kaynak sırasında açığa çıkan zehirli gazlardan çalışanların etkilenmesinin önüne geçilmesi mümkündür (Antonini ve ark., 2004).

Kaynak yapımı için kullanılan yanıcı ve yakıcı gazlar da; kaynak işleminde çıkan gazlar kadar önemli tehlikeler oluşturmakta olup ayrıca bu gazların depolanması ve taşınması sırasında da pek çok tehlike sağlığı tehdit etmektedir. Yapılan kaynak işlemleri için kullanılan yanıcı ve yakıcı gazların bulunduğu tüpler aynı zamanda belirli basınç altında bulunduğu için bu tüpler dayanıklı olmalı ve kontrolleri düzenli olarak yaptırılmalıdır. Kimyasal gazların bulunduğu yanıcı ve yakıcı gaz tüplerinde deliklerin olması, vanalarının kırılması gibi sebepler ile patlaması sonucu işyerleri için çeşitli yaralanmalar ve ölüme gidecek sonuçları bulunmaktadır (Kimyasal Maddelerde Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, 2013).

Ana metal sektörünün kimyasal tehlikelerinden korunmak amacıyla özellikle döküm ve eritme işlemlerinde çalışanlar uygun kişisel koruyucu donanımlarını kullanmakta daha dikkatli olmalıdır. Havalandırma sisteminin yeterli kapasitede ve bakımlarının aksatılmadan yapıldığı bir ortamda çalışmak kimyasal maruziyetlerine karşı kaçınılmaz bir tedbir olarak alınmalıdır. Düzenli ve periyodik olarak yapılacak sağlık gözetimi ve ortam ölçümü sonuçlarına göre risk değerlendirme çalışmaları yapılarak gerekli tedbirlerin eksiksiz alınması sağlanmalıdır (İş Sağlığı ve Güvenliği İyileştirme Projesi, 2015b).

Kimyasal maddelerin birbirleriyle temasları önlenmeli, her türlü tehlikelerinden korunulmalı ve yapılan işin özellikleri göz önünde bulundurularak teknik önlemler alınmalıdır. İşyerlerindeki çalışma alanlarında, kullanılan kimyasal madde miktarlarından daha fazla kimyasal madde bulundurulmamalıdır. İşyerlerinde kaynak bölümünde tehlikeli gazların kaynağında yok edileceği uygun aspirasyon sistemleri olmalıdır. Havalandırma tertibatlarının yeterli düzeyde olması sağlanmalıdır. Boya karışımı yapılan alanların üstü kapatılmalı ve havalandırması olmalıdır. Kimyasalların bulunduğu ve kullanıldığı yerlerde malzeme bilgi güvenlik formları asılmalıdır. İşyerlerinde kullanılan temizlik malzemeleriyle kimyasal maddeler kilitli, kapalı ve havalandırması olan alanlarda depolanmalıdır (Obadia, 2003).

Patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olan yerler için her türlü tehlike ve riske karşı önlemler alınmalı; sesli ve görsel şekilde uyarı işaretlerinin bulunması gereklidir. İşyerlerinde kimyasal madde ve gaz ölçümleri yaptırılmalıdır. İşyerlerinde kullanılan basınçlı tüpler güvenli yerlerde ve devrilmeyecek şekilde istiflenmelidir. Basınçlı tüpler kapaksız bir şekilde bekletilmemelidir. Dolu ve boş olan tüpler ile yanıcı ve yakıcı olanlar ayrı kısımlarda depolanmalıdır. İşyerlerinde kimyasal maddelerle çalışma yapılan yerlerde göz duşu bulunmalıdır. Patlayıcı ortam oluşturma ihtimali olan işyerlerinde patlamadan korunma dokümanları mutlaka hazırlanmalıdır (Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik, 2013).

4. Sonuç

Türkiye’de bulunan işyerlerinin %98’ini, ana metal sektöründe ise %93,3’ünü çalışan sayısı ellinin altında olan küçük ve mikro ölçekli işyerleri oluşturmaktadır. Resmi kurumlardan açıklanan verilere göre 2013’te sigortalı sayılarının artışı fazla olmayıp buna karşın iş kazası sayılarında ise yaklaşık olarak bir buçuk kat artış olmuştur. Bunda önemli bir etken olarak 2012 senesinde çıkartılan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’yla birlikte iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimlerinin iş yerlerinde istihdama başlamasıyla iş kazalarının kayıtlarının tutulma oranında artış olduğu söylenebilir.

Bakanlık tarafından iş müfettişlerince yapılan İSG denetimleri boyunca işyerlerinde güvenlik kültürünün oluşturulması açısından önemli tespitlerde bulunulmuştur. Teftişler sonucunda işyerlerinde sağlık ve güvenlik şartlarındaki durumların tespit edilmesi, işverenlerin ve İSG alanında görev alan çalışanların işyerlerinin durumları hakkında bilgi sahibi olması, yaptıkları çalışmaların mevzuatlar dahilinde ne kadar uygun olup olmadığını görülmesi açısından olumlu katkılar sağlanmıştır. Teftiş sırasında ortaya çıkartılan eksikliklerin teftiş sonuna kadar giderilmesi için iş müfettişleri tarafından işverenlere süre verilmiş olup teftişler devam ederken düzeltilen uygunsuz durumlar sonucunda birçok iyileştirme faaliyetlerine katkı sağlanmıştır. Asıl olan teftiş amacıyla giderilen uygunsuzluklar olmamalı, teftiş olmadığı durumlarda da işverenler tarafından mevzuatlar dahilinde sorumluluk altında oldukları İSG ilgili tedbirlerin her zaman yerine getirilmesidir. İşverenler ile iş sağlığı ve güvenliği üzerine çalışanların sorumluluk bilinciyle hareket etmesi ve yapılacak çalışmaların sürekli hale getirilmesi amaçlanmalıdır.

Türkiye’de ana metal sektöründe ve ekonomik büyüme ile gelişmişlik açısından Avrupa Birliği’nden seçilen bazı ülkeler, iş kazası sıklık değerleri bakımından ele alındığında İspanya ve İsviçre gibi ana metal sektöründe gelişme göstermiş ülkelerin iş kazası sıklık değerlerinin Avrupa Birliği genelinin üstünde olduğu görülmektedir. 2012 yılına kadar ülkemiz ana metal sanayinde Avrupa Birliği üye ülkeleriyle benzer ve daha az iş kazası sıklık oranlarının yaşanmasına rağmen 2018’de üye ülkelerin ortalamalarının üzerinde seyrederek sırasıyla 2,5 ve 3,5 kat artış yaşandığı gözlenmiştir. Yaşanan artışın sebebi 2012’de çıkartılan kanun ve ilgili mevzuatlar sonucu iş güvenliği uzmanlarının ve işyeri hekimlerinin çalışmaya başlaması ve kaza bildirimlerinin elektronik olarak gerçekleştirilmesi ile bağlantılı olduğu düşünülse de, gerçeği daha fazla yansıtan sayıların bildirimlerinin yapılmasında hala sıkıntılar bulunmakta ve bu kapsamda çalışmaların gerçekleştirilmesi önemlidir.

Ana metal sektöründeki yüksek iş kazası sayılarının önüne geçebilmek için iş sağlığı ve güvenliği koşullarında ayrıntılı şekilde incelemelerin yapılması, sektördeki İSG alanında var olan tehlikeler ile risklere karşı getirilecek çözüm önerilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede, işverenler, çalışanlar ve İSG alanında çalışma yapanlarla çözüm önerilerinin paylaşılması; konuya olan bakış açılarını değiştirecek, farkındalık düzeylerinin artmasını sağlayacak ve iş kazaları ile meslek hastalıkları sonucu ortaya çıkacak olumsuz durumların etkisini en aza indirecektir. Yapılan bu çalışma; sektörün iş kazası sayıları bakımından hangi boyutlarda olduğunun ortaya konması, sektördeki tehlike ve risklerin neler olduğunun belirlenmesi ile risklere getirilebilecek çözüm önerilerinin bilinmesine katkı sağlayacaktır.

Bu nedenle literatür anlamında bilgi edinmek isteyen İSG profesyonelleri, araştırmacılar, işverenler, çalışanlar ile iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde yer alan tüm kişiler için çalışmanın faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Altıparmak Z. Demir dökümhanelerinde çalışanların gürültü maruziyetlerinin belirlenmesi ve alınabilecek önlemler. Uzmanlık Tezi, Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 2014, Ankara.
- Antonini JM., Taylor MD., Zimmer AT., Roberts JR. Pulmonary responses to welding fumes: role of metal constituents. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 2004; 67(3): 233-249.
- Ateş D. Industrial revolution: Impetus behind the globalization process. Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2008; 31-48.
- Brinksmeier E., Meyer D., Huesmann-Cordes AG., Herrmann C. Metalworking fluids-mechanisms and performance. *CIRP Annals* 2015; 64(2): 605-628.
- Ceylan H. Analysis of occupational accidents according to the sectors in Turkey. *Gazi University Journal of Science* 2012; 25(4): 909-918.
- Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik. (2013, 30 Nisan). Resmi Gazete (Sayı:28633). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/04/20130430-6.htm>
- Edwards DJ., Holt GD. Hand-arm vibration exposure from construction tools: results of a field study. *Construction Management and Economics* 2006; 24(2): 209-217.
- Eroğlu E. Bir organize sanayi bölgesinde plastik mamul üretimi yapan işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği sorunları. Kocaeli Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, Türkiye, 2015.
- European Statistical Office, Eurostat. 2020. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> (Erişim Tarihi: 17.10.2020).
- Eurostat European Commission. 2013. European Statistics on Accidents at Work (ESAW) – Summary Methodology. Eurostat Methodologies & Working Paper (2013 Edition). <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5926181/KS-RA-12-102-EN.PDF/56cd35ba-1e8a-4af3-9f9a-b3c47611ff1c> (Erişim Tarihi: 17.10.2020).

- Eurostat SE. Accidents at work statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Number_of_accidents (Erişim Tarihi: 17.10.2020). 2014.
- General ED. Metal products industry. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.2105&rep=rep1&type=pdf> (Erişim Tarihi: 01.09.2020). 2003.
- Hacımustafaoğlu FD. Kamu kurumlarında makine ikmal bakım ve onarım çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ve iş ekipmanlarının periyodik muayenesi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Gaziantep, Türkiye, 2019.
- Harris JR., Current RS. Machine safety: new & updated consensus standards. *Professional Safety* 2012; 57(05): 50-57.
- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği (2013, 25 Nisan). Resmi Gazete (Sayı:28628). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/04/20130425-7.htm> (Erişim Tarihi: 17.10.2020).
- İş Sağlığı ve Güvenliği İyileştirme Projesi. 2015a. Meslek hastalıkları ve iş ile ilgili hastalıklar tanı rehberi. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/4597/rehber20.pdf> (Erişim Tarihi: 19.10.2020)
- İş Sağlığı ve Güvenliği İyileştirme Projesi. 2015b. KOBİ'ler İçin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Metal Sektörü. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/4594/rehber18.pdf> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- Kahya E., Ulutaş B., Özkan NF. Analysis of environmental conditions in metal industry. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2018; 6(1): 38-46.
- Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. (2013, 12 Ağustos). Resmi Gazete (Sayı:28733). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/08/20130812-1.htm> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- Makinelerde Mekanik Tehlikeler ve Önlemler. <https://isgrehberi.org/2018/05/25/makinelerde-mekanik-tehlikeler-ve-onlemler/> (Erişim Tarihi: 07.11.2020).
- Nakada K. Kansei engineering research on the design of construction machinery. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1997; 19(2): 129-146.
- Obadia I. ILO activities in the area of chemical safety. *Toxicology*, 2003; 190(1-2): 105-115.
- Olagbegi PO., Kwasi CC., Ugbi BA. Assessment of health and safety practice in engineering workshop. *International Journal of Engineering Sciences*, 2013; 2(7): 297-301.
- Özden A., Haçikoğlu M. Ana metal sanayi sektörü. https://www.atbank.com.tr/documents/ANA%20METAL%20SANAYI%20SEKTORU_EYLUL%202017.PDF (Erişim Tarihi: 07.11.2020). 2017.

- Özkılıç Ö. İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri. TİSK Yayınları, 2005; Ankara.
- Şahinkaya S. Ana Metal Sanayi. <https://www.yumpu.com/tr/document/read/37107074/ana-metal-sanayisi-turkiye-kalknma-bankas> (Erişim Tarihi: 01.09.2020). 2012.
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. 2014 Yılı Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Programlı Teftişi Sonuç Raporu 2014, Ankara.
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. Ana Metal Sanayisi, Fabrikasyon Metal Ürünlerin İmalatı ve Otomotiv Yan Sanayisinde İş Sağlığı ve Güvenliği Programlı Teftişi Genel Değerlendirme Raporu 2017, Ankara
- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Çalışma Hayatı İstatistikleri 2009 - 2018. <https://www.ailevecalisma.gov.tr/tr-tr/istatistikler/calisma-hayati-istatistikleri/resmi-istatistik-programi/calisma-hayati-istatistikleri-kitabi/> (Erişim Tarihi: 01.09.2020), 2020.
- T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu. İstatistik yıllıkları 2009-2018. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari (Erişim Tarihi: 01.09.2020), 2020.
- Yeşilgöz P., Adanır H. Dökümhanelerde iş sağlığı güvenliği uygulamaları: Örnek bir uygulama. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi 2018; 2(1): 23-30.

Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi: İskenderun-Arsuz Sahil Bandı Örneği

Onur GÜNGÖR^{1*}, Gülay TOKGÖZ²

^{1,2} İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 31200, İskenderun/ Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0003-2444-4979>

²<https://orcid.org/0000-0002-9527-9379>

*Sorumlu yazar: onur.gungor@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 31.07.2022

Kabul tarihi: 20.12.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Görsel peyzaj kalitesi

Rekreasyonel peyzaj değeri

Doğal peyzaj

Kültürel peyzaj

İskenderun-Arsuz sahil bandı

Araştırma Hatay'ın İskenderun, Arsuz ve Belen ilçelerini kapsayan ve İskenderun-Arsuz sahil bandı olarak adlandırılan bölgede yürütülmüştür. Çalışmanın ana amacı bölgenin doğal ve kültürel peyzaj alanlarını görsel peyzaj kalitesi (GPK) yönünden değerlendirmektir. Ayrıca çalışma kapsamında seçilen alanların GPK değeri ile rekreasyonel etkinlikler için tercih edilmeleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bölgedeki farklı özelliklere sahip peyzaj alanlarının görsel peyzaj kalitesinin nasıl algılandığını ve rekreasyonel tercihler üzerindeki etkilerini ortaya koymak üzere 75 kişi ile anket çalışması yürütülmüştür. Bu amaçla, farklı peyzaj karakterine sahip alanları temsil eden 30 adet fotoğraf kullanılmıştır. Katılımcıların peyzaj alanlarını beğeni düzeyleri, beğenilerini etkileyen GPK ölçütleriyle ilişkisi ve rekreasyonel etkinlikler için tercih edilmesinde görsel kalite ölçütlerinin etkisi istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Spearman korelasyon testi ile ilişki ve anlam analizleri yapılmış, peyzaj alanlarının beğenilmesinde en önemli ilk üç ölçütün manzara güzelliği (0,730), rekreasyonel değer taşıma (0,607) ile doğallık (0,590) olduğu tespit edilmiştir.

Visual Landscape Quality Assessment: The Sample of Iskenderun-Arsuz Coastline

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 31.07.2022

Accepted: 20.12.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Visual landscape quality

Recreational landscape value

Natural landscape

Cultural landscape

İskenderun-Arsuz coastline

The research was carried out in the area called Iskenderun-Arsuz coastline, which covers the districts of Iskenderun, Arsuz, and Belen in Hatay. The main purpose of the study is to evaluate the natural and cultural landscape areas of the region in terms of visual landscape quality (GPK). In addition, the relationship between the GPK value of the selected areas within the scope of the study and their preference for recreational activities was examined. A survey was conducted with 75 people in order to reveal how the visual landscape quality of landscape areas with different characteristics in the region is perceived and their effects on recreational preferences. For this purpose, 30 photographs representing areas with different landscape characteristics were used. The level of appreciation of the landscape areas of the participants, their relationship with the GPK criteria that affect their taste, and the effect of visual quality criteria on their preference for recreational activities were statistically demonstrated. Relationship and meaning analyses were made with the Spearman correlation test, and it was determined that the first three criteria for the appreciation of landscape areas were scenic beauty (0.730), recreational value (0.607), and naturalness (0.590).

To Cite: Güngör O., Tokgöz G. Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi: İskenderun-Arsuz Sahil Bandı Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 776-791.

1. Giriş

Doğal kaynaklar, kavramsal ve ekonomik olduğu kadar estetik yönden de irdelenmesi gereken peyzajlardır. Günümüzde ekosistemlerin korunarak sürdürülebilirliğinin sağlanması, planlama ve yönetimi için yürütülen çalışmalarda, peyzajların görsel değerinin analiz edilmesi, görsel kalitesinin saptanması ve değerlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır (Özgüç Erdönmez ve Çağlayan Kaptanoğlu, 2008; Özvan, 2020). Yalçınkaya (2021)'e göre farklı coğrafyalarda oluşan peyzaj tipleri doğal ve kültürel çevresel bileşenler yönünden benzer yapıdadır. Hassas peyzajların korunması, doğal ve kültürel kaynakların bilinçli kullanılması insan ihtiyaç, istek beklenti durumlarına cevap veren alanların oluşturulması ile sağlanır. Bu amaç doğrultusunda kentlerin ve çevresinin sistematik olarak yenilenmesinde “görsel kalite değerlendirme” çalışmaları dikkate değer rol oynar (Özvan, 2020). “Görsel Kalite” peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarında, alanın peyzaj yapısına ait olanakların belirlenmesi, peyzaj elemanlarının ve bileşenlerinin sahip olduğu potansiyellerin saptanması açısından önemli bir kavramdır (Ak, 2010; Asur ve Alphan, 2018). Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi (GPKD) kavramı manzara ve görsel etki değeri yüksek alanların belirlenerek ortaya çıkartılabilmesi, bu alanlarda bulunan doğal ve kültürel unsurların bireyler üzerindeki etkisinin saptanabilmesi, insanın mekân tercihlerini olumlu yönde etkileyen özelliklerin belirlenebilmesi, insan ve çevre arasındaki bağın araştırılabilmesi gibi nedenlerle ortaya çıkmıştır (Tanış, 2019). Çağlayan Kaptanoğlu (2006) Görsel Peyzaj Kalitesini (GPK) peyzaja ait görsel bilginin, bir gözlemci tarafından idealize edilmesi, peyzaja uygunluğunun ölçülmesi olarak tanımlamaktadır. Kalitenin ölçülmesi ve değerlendirmesinde takip edilen adımlar; kaynağa ait niteliklerin ilişkilendirilmesi, sınıflandırılması, alanın analizinin yapılması ve buna bağlı olarak peyzaj değerinin belirlenmesidir. Veriler alan kullanım kararlarının alınması ve önerilerin getirilmesinde temel oluşturmaktadır (Çağlayan Kaptanoğlu 2006, Dere, 2017). Daniel (2001) GPK'yı insan gözlemine bağlı, bilişsel, algısal, duyuşsal psikolojik süreçlerle etkileşim halinde bulunan görünür peyzaj özelliklerinin ortak ürünü olarak nitelendirmektedir. Polat ve Önder (2011) GPK'yı “bir peyzajın göreceli estetik kusursuzluğu” olarak tanımlamaktadır ve gözlemcinin beğenisi aracılığı ile ölçülebilir olduğunu belirtmektedir. Doğal ve insan yapımı elemanlar ile görsel olarak saptanabilen fiziksel ve biyolojik kaynaklar peyzajın görsel karakterini oluşturur (Amir ve Gidalizon, 1990). Görsel peyzaj analizi, 1.peyzaj envanterinin oluşturulması, tanımlanması ve sınıflandırılması, 2.değer yargılarının veya görsel peyzaj değerlerinin saptanması, 3.bireysel peyzaj tipleri için toplumsal veya bireysel tercihlerin nesnel-görsel peyzaj kalitesinin değerlendirilmesi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Görsel peyzaj analizleri peyzaj planlama ve yönetimi çalışmalarında diğer peyzaj analizleri ile birlikte kullanılmaktadır (Unwin, 1975). Özgüç (1999)'a göre, görsel peyzaj kaynaklarının korunabilmesi ve etkili biçimde yönetilebilmesi için projenin karar aşamasında, alanın görsel niteliğinin belirlenerek analizinin yapılması doğru yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda yapılan GPK çalışmaları, kentlerin estetik açıdan gelişimine katkı sağlayarak, insanların yaşam kalitesini ve kent peyzajına bakış açısını geliştirmektedir (Aytaş ve Uzun, 2015). Peyzajın fiziksel özelliklerinin algısal parametrelerle ilişkilendirilerek peyzajın görsel

kalitesinin ve görsel tercihlerinin saptanmasında bir yöntem olarak kullanılan görsel kalite analizi ile nitel tanımlamalar nicel verilere dönüştürülerek bir alanın görsel potansiyeli ortaya konmaktadır (Aklıbaşında ve Bulut, 2018). GPK, peyzaj özelliklerini gözlemleyen kişilerin algısal ve fiziksel süreçlerinin etkileşimine dayanır. Bir peyzajın estetik anlamda mükemmelliği olarak da tanımlanan görsel peyzaj kalitesi, çevresel unsurların, insan davranışlarına dönüştüğü etkinin algılanarak yorumlanma şekli ile bu algısal sürecin değerlendirilmesidir ve gözlemcilerin beğenisi aracılığıyla ölçülmektedir (Daniel, 2001; Fuente de Val ve ark., 2006; Güneroğlu, 2017; Özvan, 2020).

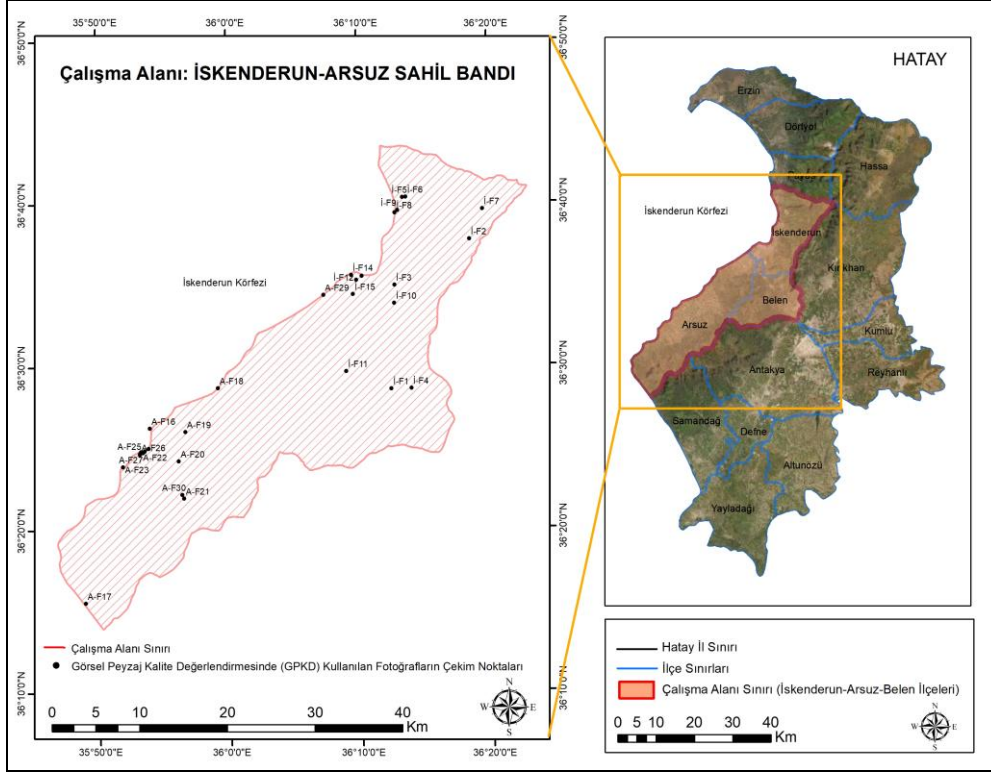
Kullanıcıların peyzaj ya da çevre algısını anlamaya yönelik araştırmalarda, peyzajın yapısal özellikleri ile görsel kalitesi arasındaki ilişkilerin analizi sıklıkla yapılmaktadır. “Objektif” paradigma (peyzaj özelliklerine özgü görsel kalite) ve “subjektif” paradigma (seyircinin gözündeki peyzaj kalitesi), peyzaj değerlendirme metodu olarak tercih edilen paradigmalardır (Fuente de Val ve ark., 2006; Kıroğlu, 2007).

Bu çalışma ülkemizin Doğu Akdeniz bölgesinde, İskenderun körfezine kıyısı olan Hatay İlinin İskenderun, Arsuz, Belen ilçelerini kapsayan ve araştırmacılar tarafından İskenderun-Arsuz sahil bandı olarak adlandırılan bölgede yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, bölgede gözlemlenen farklı peyzaj karakter tiplerine sahip alanların görsel peyzaj kalitesini belirli değişkenler doğrultusunda incelemektir. Bu doğrultuda görsel peyzaj kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen bulguların yapılacak görsel peyzaj planlaması ve tasarımı çalışmalarına altlık oluşturabileceği öngörülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma alanını kapsayan Hatay ilinin İskenderun, Arsuz ve Belen ilçeleri, Akdeniz ile Amanos Dağları arasındaki kıyı, ova ve eşik arazilerde gelişim göstermektedir. Dağ ile deniz arasında dar bir alanda gelişim gösteren kentsel yerleşimlerin deniz, plaj, orman gibi zengin doğal peyzaj elemanları ile çevrili olması, alanı görsel peyzaj değeri yönünden incelenmeye değer kılmaktadır. Bu nedenlerle İskenderun-Arsuz sahil bandı çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı sınırları içinde incelenmek üzere otuz farklı nokta belirlenmiştir. Bu noktaların bölgenin doğal ve kültürel peyzaj karakterini temsil etme kabiliyetleri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve görsel peyzaj kalite değerlendirmesinde kullanılan fotoğrafların alan içindeki yerleri

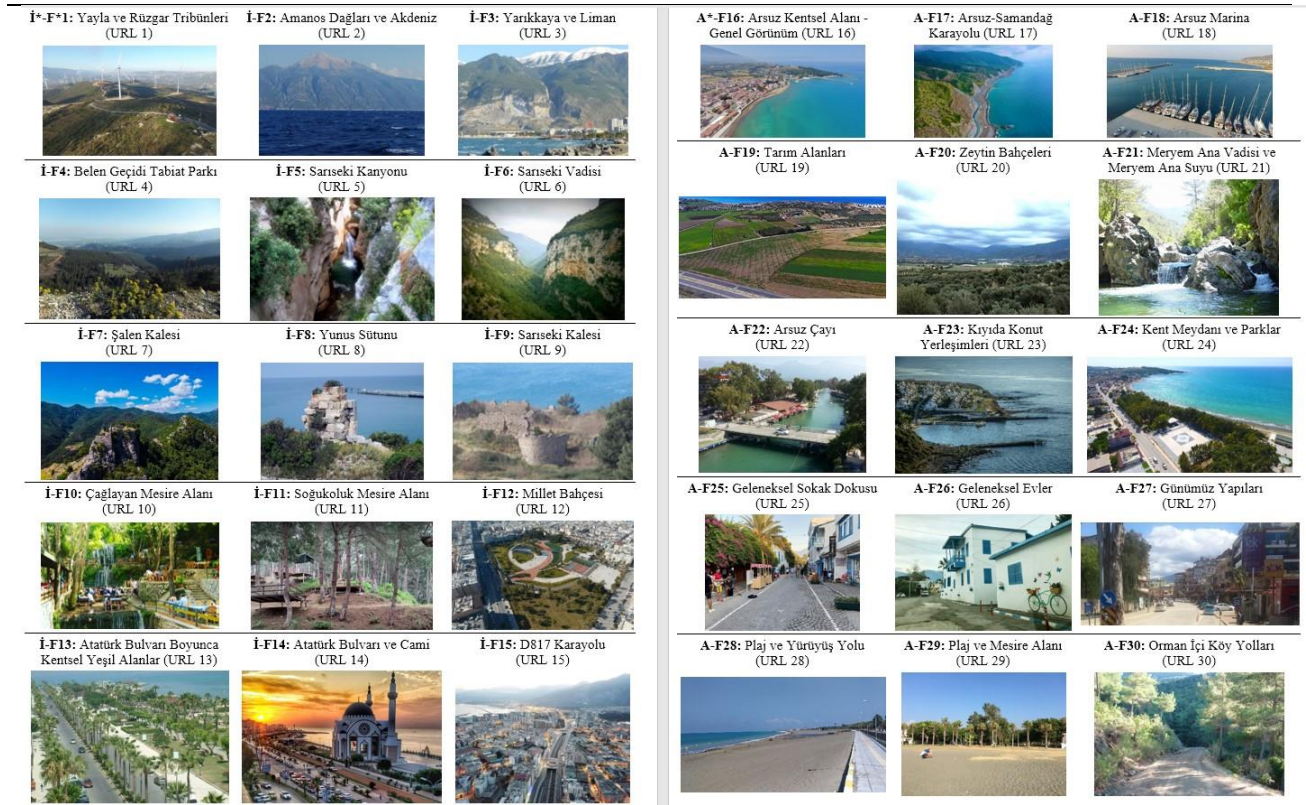
2.2. Metot

GPK değerlendirme ve analizi çalışmalarında manzara kalitesinin belirlenmesi ve ölçülmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde objektivist yaklaşım (Fiziksel model-Uzman Modeli), Subjektivist yaklaşım (Psikolojik model- Halk modeli), Psikofiziksel yaklaşım olarak üç farklı yaklaşımın tercih edildiği görülmektedir (Özvan, 2020). Betimleyici-tanımlayıcı olarak görülen objektivist yaklaşımda “çizgi”, “biçim”, “doku” gibi unsurların manzara güzelliğini etkileyen estetik öğeler olduğu kabul edilir. Bu öğelerin peyzaj kalitesine olan etkisi nedeniyle arazi envanteri oluşturulur, peyzaj sınıflandırılır ve haritaları oluşturulur. Peyzaja ait fiziksel özelliklerin daha az dikkate alındığı genellikle psikolojik etkenlerin etkilerinin değerlendirildiği yaklaşım olan subjektivist yaklaşımda insan peyzajın bir parçası kabul edilir. Bu nedenle modelde toplum tercihleri incelenir. Subjektif yanıtlamalar ve istatistiksel analizler neticesinde ortaya çıkan değerlendirmelerde peyzaj kalitesi ortaya konmaktadır. Bu veriler genellikle foto-anketler ile toplanır. İki yaklaşımın (objektivist-subjektivist) birleştirildiği, peyzajlara ait fiziksel karakterler (topoğrafya, eğim, bitki örtüsü vb.) ile kullanıcıların algı ve tepkilerinin nicel ifade olarak ortaya çıkarıldığı yaklaşım ise psikofiziksel yaklaşım olarak bilinmektedir. Peyzaja ait özellikler ile kullanıcıların peyzajın durumu ve kalitesi için yaptıkları görüş ve değerlendirmeler istatistik testlerle analiz edilebilmektedir (Özvan, 2020).

Nesnel bir değerlendirmeye ihtiyaç duyulan görsel peyzaj analizleri, görsel açıdan zengin ve kaliteli peyzaj karakterlerinin ortaya çıkarılmasını sağlar (Uzun ve ark., 2012). Günümüzde görsel peyzaj

değerlendirmesi ve analizi için birçok yöntem tercih edilmektedir (Anderson ve ark., 1979; Arriaza ve ark., 2004; Uzun ve ark., 2012). Çalışmalarda en yaygın kullanılan, Daniel ve Boster (1976) tarafından geliştirilen Manzara Güzelliği Değerlendirme Yöntemi (Scenic Beauty Estimation Method)'dir. Yöntem peyzaj karakterlerini temsil eden fotoğrafların insanlara gösterilerek, tercihleri doğrultusunda görsel kalite bakımından zengin peyzaj karakterlerinin belirlenmesini kapsar (Uzun ve ark., 2012).

Çalışmada İskenderun-Arsuz sahil bandının GPK değerinin belirlenmesinde Daniel ve Boster (1976) tarafından geliştirilen Manzara Güzelliği Değerlendirme Yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda birçok çalışma (Fuente de Val ve ark., 2006; Clay ve Daniel, 2000; Clay ve Smidt, 2004; Arriaza ve ark., 2004) incelenerek GPK değerlendirme ölçütleri; doğallık, çeşitlilik, uyum, açıklık, perspektif, bakım, düzen, güven, manzara güzelliği, rekreasyonel tercih değeri olarak belirlenmiştir. Yöntem esas alınarak çalışma iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Yöntemin uygulanmasında birinci aşama GPK değerlendirmesi için fotoğraf seçimidir. Belirlenen çalışma alanına ait mevcut peyzaj karakterini yansıtan, görsel peyzaj bileşenleri bakımından çeşitli, akılda kalabilecek ve farkındalık duygularını uyandırabilecek özellikte farklı peyzaj karakter tiplerine ait fotoğraflar seçilmiştir. Alanları temsil eden görüntüler, araştırma kapsamında alanlara ulaşımında yaşanan ekonomik zorluklar, çalışmanın Covid-19 pandemi döneminde yürütülmüş olması ve alanlara ait geniş perspektife sahip fotoğrafların kullanılmasının uygun olacağı nedenleriyle internet ortamında yer alan çeşitli web sayfalarından temin edilmiştir. Araştırmacılar tarafından İskenderun-Arsuz sahil bandında farklı tipte peyzaj özelliklerine sahip alanlardan toplam 30 adet fotoğraf belirlenmiştir. GPK değerlendirmesinde kullanılan alanların fotoğrafları Şekil 2'de verilmiştir.



İ*: İskenderun, A*: Arsuz, F*: Fotoğraf

Şekil 2. İskenderun-Arsuz sahil bandında GPK değerlendirmesi için seçilen alanlar (URL 1-30)

Çalışmanın ikinci aşamasında alanda GPK'yı ölçmek amacıyla bir anket formu hazırlanmış ve 2021 yılı Mayıs ve Haziran aylarında uygulanmıştır. Anket formu İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrencilerinden oluşan toplam 75 kişilik örneklem grubuyla yüz yüze ve internet üzerinden görüntülü görüşülerek yapılmıştır. Örneklem sayısının belirlenmesinde, Neuman (2014) ve Baltacı (2018)'in önerdiği araştırma problemi (konu) hakkında bilgi sahibi olan özel, küçük bir grubun seçildiği benzeşik (homojen) örneklem türü esas alınmıştır. Bu grubun özelliği görsel peyzaj kalitesi ölçütlerini değerlendirebilecek düzeyde peyzaj mimarlığı eğitimi almış ve kolay ulaşılabilir kişiler olmalarıdır. Anket formundaki soruların yanıtlanmasında kullanılmak üzere, araştırmacılar tarafından seçilen, İskenderun-Arsuz sahil bandındaki farklı peyzaj tiplerini temsil eden ve Şekil 2'de belirtilen 30 adet fotoğraf kullanılmıştır.

Ankette iki tip soru yer almaktadır. İlk olarak, katılımcıların her bir fotoğraf için genel beğeni düzeyi sorgulanmıştır. Bu amaçla 1-5 arasında (5: Çok Beğendim, 4: Beğendim, 3: Nötr, 2: Beğenmedim, 1: Hiç Beğenmedim) 5'li Likert puan skalası kullanılmıştır. Anket formunda sorulara verilen yanıtların değerlendirilmesinde Tablo 1'deki değer aralıkları kullanılmıştır. Aralıkların eşit olduğu varsayılmış, aritmetik ortalamalar için puan aralığı 0,80 olarak hesaplanmıştır (Puan Aralığı = (En Yüksek Değer – En Düşük Değer)/5 = (5 – 1)/5 = 4/5 = 0,80). Bu hesaplama göre aritmetik ortalamaların değerlendirme aralığı Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. 5’li Likert ölçeğine göre aritmetik ortalamaların değerlendirme aralığı

| Anket formunda yer alan seçenekler | Aralık |
|------------------------------------|-----------|
| 1: Hiç Beğenmedim | 1,00-1,80 |
| 2: Beğenmedim | 1,81-2,60 |
| 3: Kararsızım / Nötr | 2,61-3,40 |
| 4: Beğendim | 3,41-4,20 |
| 5: Çok Beğendim | 4,21-5,00 |

İkinci olarak katılımcıların fotoğraflarda yer alan peyzaj alanlarına dair görsel algıları ölçülmüştür. Fotoğrafların GPK ölçütlerine göre -2, -1, 0, 1, 2 (-2 en düşük, +2 en yüksek) aralığında puanlandırılması istenilmiştir. Kullanılan ölçütler, sorular ve puanlandırılmasında kullanılan açıklamalar Tablo 2’de verilmiştir. Verilen yanıtlar ile ölçütlerin toplam puanı, aritmetik ortalama değeri, standart sapma değerleri hesaplanmış, Spearman korelasyon testi ile ilişki ve anlam analizleri yapılmıştır. Uygulanan anket formundan elde edilen verilerin istatistiksel analizinde SPSS programı ve sayısal hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Tablo 2. Araştırmada kullanılan GPK değerlendirme ölçütleri, sorular ve puanlandırılma (Clay ve Smidt, 2004; Fuente de Val ve ark., 2006; Özhancı ve Yılmaz, 2011, Adıgüzel, 2019)

| Ölçüt | Sorular ve Puanlandırma |
|-----------------------------------|--|
| Doğallık | Görselde doğal manzara özelliklerinden uzaklaştıracak yapay unsurlar olup olmadığına göre puan veriniz. Doğala yakın ise yüksek, yapaya yakın ise düşük puan veriniz. |
| Çeşitlilik | Görselin çok sayıda birbirinden farklı/çeşitli unsura sahip olduğunu algıyorsanız yüksek bir puan ve az sayıda farklı/çeşitli unsura sahip olduğunu algıyorsanız düşük puan veriniz. |
| Uyum | Görselde peyzajı oluşturan unsurlar bütünlük gösteriyorsa yüksek, uyumsuz/yabancı unsurlar varsa düşük puan veriniz. |
| Açıklık | Görseli algılamak ya da yorumlamak sizce akıl karıştırıcı / zor ise düşük puan veriniz. |
| Perspektif | Görselin geniş ya da panoramik bir perspektif olduğunu algıyorsanız yüksek bir puan veriniz. |
| Bakım | Görselin bakımsız olduğunu düşünüyorsanız düşük veriniz. |
| Düzen | Görseldeki peyzaj öğelerinin (su, bitki örtüsü, yapay yapı malzemeleri vb.) düzenli bir şekli olduğunu veya görselin düzenli öğelere, net düzenlemelere sahip olduğunu algıyorsanız yüksek bir puan veriniz. |
| Güven | Görselin bileşenlerinin riskleri veya tehlikeleri çağrıştırdığını algıyorsanız düşük puan, konuksever, tehlikesiz ve emin bir görünüş sunarsa yüksek puan veriniz. |
| Manzara güzelliği | Görselin manzara güzelliğini kendi algınıza göre puanlayınız. |
| Rekreasyonel tercih değeri | Görseldeki yerin sizce herhangi bir rekreasyonel kullanıma uygunluk ya da kullanım için tercih edilme düzeyini puanlayınız. |

3. Bulgular ve Tartışma

GPK değerlendirmesi kapsamında anket katılımcılarının görüşlerine dayalı olarak peyzaj alanlarının beğeni düzeyleri, görsel kalite ölçütlerine (doğallık, çeşitlilik, uyum, açıklık, perspektif, bakım, düzen, güven, manzara güzelliği) uygunluğu ve taşıdığı rekreasyonel tercih değeri saptanmıştır. Her alanın aldığı ortalama ve toplam puanlar hesaplanarak Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Peyzaj alanlarının beğenilme düzeylerine, GPK ölçütlerine ve rekreasyonel tercih değerine göre aldığı puanlar

| Fotoğraf Kodu | Peyzaj Tipi | Ölçütler ve Toplam Puanları | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|--|----------------------------|------------|------------|-----------|------------|-------|------------|-------|-------------------|------------|----------------------------------|
| | | Beğeni Düzeyinin Ortalama Puanı ve İfadesi | GPK Ölçütü ve Toplam Puanı | | | | | | | | | | Rekreasyonel Tercih Değeri Puanı |
| | | | Doğallık | Çeşitlilik | Uyum | Açıklık | Perspektif | Bakım | Düzen | Güven | Manzara Güzelliği | | |
| İ*-F*1 | Yarı doğal | 3,38 | Nötr | 48 | -6 | 33 | 75 | 65 | 44 | 55 | 11 | 33 | -7 |
| İ-F2 | Doğal | 4,28 | Çok Beğendim | 131 | 41 | 115 | 109 | 69 | 71 | 98 | 43 | 117 | 68 |
| İ-F3 | Yarı doğal | 3,66 | Beğendim | 49 | 77 | 54 | 65 | 55 | 34 | 39 | 39 | 68 | 62 |
| İ-F4 | Doğal | 3,56 | Beğendim | 125 | 56 | 68 | 79 | 42 | 24 | 29 | 1 | 85 | 55 |
| İ-F5 | Doğal | 4,21 | Çok Beğendim | 133 | 84 | 90 | 68 | 38 | 47 | 48 | -22 | 112 | 43 |
| İ-F6 | Doğal | 4,06 | Beğendim | 139 | 40 | 91 | 90 | 50 | 51 | 67 | -14 | 100 | 31 |
| İ-F7 | Kültürel | 2,97 | Nötr | 66 | 30 | 37 | 66 | 10 | -36 | -16 | -5 | 29 | 23 |
| İ-F8 | Kültürel | 3,48 | Beğendim | 74 | 56 | 40 | 72 | 41 | -3 | 17 | 1 | 82 | 31 |
| İ-F9 | Kültürel | 3,92 | Beğendim | 90 | 51 | 81 | 71 | 31 | 21 | 37 | 43 | 91 | 35 |
| İ-F10 | Yarı doğal | 3,96 | Beğendim | 32 | 102 | 80 | 60 | 52 | 81 | 77 | 88 | 90 | 103 |
| İ-F11 | Yarı doğal | 3,06 | Nötr | 68 | 30 | 32 | 66 | 11 | 8 | 13 | 28 | 0 | 61 |
| İ-F12 | Kültürel | 3,48 | Beğendim | -18 | 89 | 60 | 63 | 67 | 79 | 75 | 87 | 26 | 90 |
| İ-F13 | Kültürel | 3,78 | Beğendim | 10 | 86 | 77 | 61 | 66 | 88 | 72 | 63 | 68 | 52 |
| İ-F14 | Kültürel | 4,30 | Çok Beğendim | -14 | 67 | 88 | 80 | 88 | 105 | 101 | 81 | 99 | 56 |
| İ-F15 | Kültürel | 2,65 | Nötr | -96 | 10 | -10 | -5 | 48 | 32 | 22 | 15 | -35 | -23 |
| A*-F16 | Kültürel | 4,53 | Çok Beğendim | 60 | 89 | 91 | 73 | 89 | 72 | 73 | 64 | 103 | 87 |
| A-F17 | Yarı doğal | 4,52 | Çok Beğendim | 105 | 78 | 109 | 108 | 99 | 82 | 95 | 51 | 132 | 59 |
| A-F18 | Yarı doğal | 3,82 | Beğendim | 15 | 35 | 95 | 92 | 71 | 88 | 77 | 50 | 73 | 71 |
| A-F19 | Yarı doğal | 3,68 | Beğendim | 120 | 52 | 83 | 95 | 71 | 92 | 71 | 75 | 66 | 15 |
| A-F20 | Yarı doğal | 3,29 | Nötr | 116 | 30 | 60 | 82 | 53 | 64 | 61 | 65 | 37 | 2 |
| A-F21 | Doğal | 4,45 | Çok Beğendim | 129 | 60 | 97 | 86 | 60 | 75 | 68 | 44 | 117 | 51 |
| A-F22 | Yarı doğal | 4,12 | Beğendim | 48 | 99 | 79 | 71 | 84 | 72 | 60 | 62 | 93 | 80 |
| A-F23 | Yarı doğal | 4,36 | Çok Beğendim | 76 | 79 | 93 | 77 | 71 | 82 | 84 | 57 | 114 | 74 |
| A-F24 | Yarı doğal | 3,97 | Beğendim | 37 | 81 | 71 | 71 | 75 | 86 | 80 | 72 | 83 | 76 |
| A-F25 | Kültürel | 2,75 | Nötr | -57 | -23 | -10 | 28 | 5 | -18 | -26 | 39 | -33 | 5 |
| A-F26 | Kültürel | 4,29 | Çok Beğendim | -26 | 2 | 79 | 83 | 48 | 82 | 90 | 95 | 71 | 51 |
| A-F27 | Kültürel | 2,64 | Nötr | -54 | -9 | -14 | 36 | 6 | 36 | 11 | 39 | -23 | -6 |
| A-F28 | Yarı doğal | 3,51 | Beğendim | 67 | 9 | 45 | 81 | 47 | 19 | 28 | 54 | 53 | 76 |
| A-F29 | Yarı doğal | 3,77 | Beğendim | 88 | 42 | 68 | 79 | 56 | 45 | 52 | 72 | 64 | 79 |
| A-F30 | Yarı doğal | 3,12 | Nötr | 90 | 7 | 34 | 57 | 14 | 1 | 1 | 8 | 3 | -6 |

İ* : İskenderun, A* : Arsuz, *F: Fotoğraf.

Tablo 3 incelendiğinde, katılımcıların çok beğendiklerini belirttikleri peyzaj alanlarının 3 adedinin doğal, 3 adedinin yarı doğal ve 2 adedinin ise kültürel peyzaj tipinde olduğu görülmektedir. İskenderun'da fonda Amanos Dağlarının yer aldığı deniz manzarası (İ-F2) ile arka planda deniz manzarası ve gün batımı olan cami manzarası görsellerinin (İ-F14) ortak noktası deniz varlığıdır. En çok beğenilen üçüncü görsel ise, hareketli su varlığı, ilgi çekici topoğrafik yapısı ve doğal bitki

örtüsüyle Sarıseki Kanyonudur (İ-F5). Buradan suyun doğal veya kültürel peyzaj alanlarındaki GPK'yı güçlendirdiği ve rekreasyonel faaliyetler için tercih edilme isteğini arttırdığı sonucu çıkmaktadır. Benzer şekilde, Arsuz için görsellerin ortalama puanları incelendiğinde, A-F16, A-F17, A-F21, A-F23 görselleri için “çok beğendim” ve A-F22, A-F24, A-F28 görselleri için “beğendim” ifade grubunda oldukları görülmektedir. Bu görsellerin ortak özellikleri deniz, çay, göl veya çağlayan gibi bir doğal su kaynağının varlığına sahip olmalarıdır. Su varlığının bölgede kültürel, doğal ve yarı doğal peyzaj tipleri içinde yer almasının belirgin bir fark yaratmadığı, var olduğu her peyzaj tipinin GPK'sını yükselttiği ve rekreasyonel tercih değerini arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca İskenderun'da İ-F3, İ-F4, İ-F6 görselleri “beğendim” olarak belirtilen doğal peyzaj alanlarıdır. Bu görseller, Aklibaşında ve Bulut (2018)'in çalışmalarında vurguladıkları gibi dağ, deniz, vadi, kanyon, plato içeren geniş bir perspektife sahip panoramik görseller olup kenti çevreleyen, kuşatan alanlardır. Analiz sonuçları, benzer çalışmalarda olduğu gibi, su yüzeylerinin açık alanların en önemli bileşenlerinden biri (Burmil ve ark. 1999), peyzaj için baskın bir görsel malzeme (Pitt, 1989), çevre algısını olumlu yönde kuvvetlendiren ve buna bağlı olarak rekreasyonel değeri arttırıcı unsur (Kıroğlu, 2007) olduğunu göstermiştir. İ-F4 görseli (Belen Geçidi Tabiat Parkı) Adıgüzel (2019) ile Özhancı ve Yılmaz (2011)'in çalışmalarında bildirdiği gibi yüksek doğallık, açıklık ve manzara güzelliği puanı ve beğeni düzeyine sahiptir. İ-F8, İ-F9 ise “beğendim” olarak ifade edilen doğal ve tarihi peyzaj özelliklerinin bir arada olduğu alanlardır. Ancak tarihi kalıntıların yörede yeterince korunamadığı ve görülmeye değer bir odak noktasına ya da rekreasyonel değere dönüştürülemediği gözlemlenmiştir. İ-F10'un (Çağlayan Mesire Alanı) ise en yüksek rekreasyonel değer puanını (103) almış olması, doğal bitki örtüsü ve su varlığı gibi peyzaj özelliklerini koruyarak rekreasyonel odak noktasına dönüşmeyi başarmış (Kıroğlu, 2007; Adıgüzel, 2019) olmasıyla açıklanabilir. İ-F12 ve İ-F13 kent içinde oldukça geniş bir açıklığa sahip insan eliyle oluşturulmuş kentsel yeşil alanlardır. Bu iki alandan İ-F12'nin (Millet Bahçesi) ikinci yüksek rekreasyonel değer puanına (90) sahip olması, genel olarak alanda gözlemlenen görsel sunu ve rekreasyonel aktivite çeşitliliğinin yüksek olmasına bağlı olabilir. İ-F1, İ-F7, İ-F11, İ-F15, A-F20, A-F25, A-F27, A-F30 nolu görseller için katılımcıların ortalama beğeni düzeyleri “nötr” olarak belirlenmiştir. İnsan yapımı unsurların doğal peyzajın görsel kalitesini düşürdüğünü bildiren çalışmalara (Kıroğlu, 2007; Özhancı ve Yılmaz, 2011) benzer olarak, İ-F1'de rüzgâr tribünlerinin varlığının, İ-F7'de tarihi kalıntıların yok olmaya yüz tutmuş olmasının, İ-F15'te kentsel dokunun yoğun şekilde betonlaşmış görüntüsünün katılımcıların görüşlerinde olumsuzluk ya da kararsızlık yarattığı görülmüştür. A-F25 Arsuz'un geleneksel sokak dokusuna, A-F27 günümüz sokak dokusuna ait görseller olup, katılımcıların peyzaj beğeni düzeylerinin “nötr” olduğu görülmektedir. Oysa aynı geleneksel sokak dokusunun bir parçası olan ve yörenin tarihi mimarisini yansıtan A-F26 görseli için “çok beğendim” ifadesi bildirilmiştir. Geleneksel yapıların beğenilmesinin bu yapıların onarılmış ve bakımlı olmalarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Ancak aynı düzen ve bakımın sokak dokusunda bulunmayışı anket katılımcılarını kararsız bırakmış ve nötr beğeni görüşü bildirmelerine neden olmuş olabilir. Ayrıca bu durum GPK analizinde kullanılan görsel seçiminin,

analiz sonuçlarını önemli derecede etkileyebileceğini göstermektedir. GPK analizlerinde anket formları aracılığı ile veri elde etmenin yanı sıra, gelişmiş görüntü analizi ve sınıflaması tekniklerinin kullanılmasının daha objektif sonuçlara yaklaşılmada fayda sağlayacağı düşünülmektedir. GPK ölçütleri (doğallık, çeşitlilik, uyum, açıklık, perspektif, bakım, düzen, güven, manzara güzelliği, rekreasyonel tercih değeri) ile katılımcıların beğeni düzeyi arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı ve ilişkinin düzeyi istatistiksel olarak incelenmiş ve analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde, GPK ölçütlerinin kendi aralarında ve yine GPK ölçütleri ile bir peyzaj alanını beğenme düzeyi arasında olumlu yönde ve %99 oranında ($p < 0,01$) anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. İskenderun ve Arsuz'da beğeni düzeyi ile manzara güzelliği arasındaki ilişki sırasıyla 0,730 ve 0,752 ile en yüksek korelasyona sahiptir. İskenderun'da doğallık-manzara (0,594), çeşitlilik-manzara (0,634) ilişkisi, uyum-düzen (0,623), açıklık-perspektif (0,513), perspektif-rekreasyonel tercih değeri (0,647), bakım-düzen (0,764), düzen-güven (0,638), güven-manzara (0,541), manzara-rekreasyonel tercih değeri (0,585) ölçütleri arasındaki ilişkilerin yüksek olduğu görülmektedir. Arsuz'da ise doğallık-uyum (0,580), çeşitlilik-uyum (0,687), uyum-bakım (0,717), açıklık-bakım (0,588), perspektif-bakım (0,692), bakım-düzen (0,810), düzen-manzara (0,645), güven-manzara (0,463), manzara-rekreasyonel tercih değeri (0,585) ölçütleri arasındaki ilişkilerin yüksek olduğu görülmektedir. Bu ölçütler içinde her iki kentte de bakım-düzen ilişkisinin benzer şekilde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olması, iki ölçütün GPK algısındaki önemine işaret etmektedir (Tablo 4). Peyzaj alanlarının rekreasyonel amaçlarla tercih edilmesinde birçok doğal ve kültürel peyzaj faktörü etkili olabilmekle birlikte bu çalışmada görsel kalite ile olan ilişkisine odaklanılmıştır. GPK'yı yükselten manzara özelliklerinin aynı zamanda alanın rekreasyonel etkinlikler için de tercih edilmesini olumlu yönde etkilediğini ortaya koyan çalışmalarla (Adıgüzel, 2019; Özhancı ve Yılmaz, 2011) benzer olarak bu çalışmada, manzara ölçütü ile rekreasyonel tercih değeri arasında yüksek korelasyon (0,596 ve 0,585) bulunmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Beğeni düzeyi, GPK ölçütleri ve rekreasyonel tercih değeri arasındaki ilişkilerin ortalama, standart sapma ve Spearman korelasyon analizi değerleri

| İskenderun | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Değişken | Ortalama | Standart Sapma | Değişken | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1.Beğeni Düzeyi | 3,70 | 0,54 | 1,000 | ,590** | ,571** | ,417** | ,410** | ,468** | ,417** | ,437** | ,381** | ,730** | ,607** |
| 2.Doğallık | 3,74 | 0,53 | | 1,000 | ,500** | ,436** | ,356** | ,161 | ,337** | ,404** | ,359** | ,594** | ,426** |
| 3.Çeşitlilik | 3,72 | 0,45 | | | 1,000 | ,553** | ,430** | ,563** | ,277** | ,401** | ,467** | ,634** | ,598** |
| 4.Uyum | 3,83 | 0,47 | | | | 1,000 | ,552** | ,445** | ,494** | ,623** | ,566** | ,522** | ,345** |
| 5.Açıklık | 3,90 | 0,58 | | | | | 1,000 | ,513** | ,483** | ,557** | ,442** | ,335** | ,362** |
| 6.Perspektif | 3,65 | 0,62 | | | | | | 1,000 | ,393** | ,466** | ,517** | ,445** | ,647** |
| 7.Bakım | 3,57 | 0,57 | | | | | | | 1,000 | ,764** | ,639** | ,473** | ,373** |
| 8.Düzen | 3,65 | 0,50 | | | | | | | | 1,000 | ,638** | ,473** | ,439** |
| 9.Güven | 3,40 | 0,58 | | | | | | | | | 1,000 | ,541** | ,524** |
| 10.Manzara | 3,86 | 0,51 | | | | | | | | | | 1,000 | ,596** |
| 11.Rekreasyonel Tercih Değeri | 3,59 | 0,56 | | | | | | | | | | | 1,000 |

| Arsuz | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Değişken | Ortalama | Standart Sapma | Değişken | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1.Beğeni Düzeyi | 3,79 | 0,60 | 1,000 | ,516** | ,517** | ,583** | ,356** | ,588** | ,559** | ,515** | ,502** | ,752** | ,457** |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|-------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2.Doğallık | 3,71 | 0,58 | 1,000 | ,658** | ,580** | ,323** | ,330** | ,372** | ,374** | ,298** | ,550** | ,323** |
| 3.Çeşitlilik | 3,56 | 0,55 | 1,000 | ,687** | ,354** | ,550** | ,459** | ,473** | ,400** | ,598** | ,425** | |
| 4.Uyum | 3,86 | 0,51 | 1,000 | ,497** | ,588** | ,717** | ,705** | ,643** | ,646** | ,387** | | |
| 5.Açıklık | 3,99 | 0,60 | 1,000 | ,506** | ,588** | ,567** | ,441** | ,425** | ,363** | | | |
| 6.Perspektif | 3,75 | 0,64 | 1,000 | ,692** | ,552** | ,610** | ,606** | ,554** | | | | |
| 7.Bakım | 3,77 | 0,55 | 1,000 | ,810** | ,654** | ,639** | ,475** | | | | | |
| 8.Düzen | 3,73 | 0,57 | 1,000 | ,638** | ,645** | ,491** | | | | | | |
| 9.Güven | 3,75 | 0,57 | 1,000 | ,463** | ,458** | | | | | | | |
| 10.Manzara | 3,84 | 0,55 | 1,000 | ,585** | | | | | | | | |
| 11.Rekreasyonel Tercih Değeri | 3,62 | 0,64 | 1,000 | | | | | | | | | |

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$ anket yapılan kişi sayısı (N): 75

4. Sonuç

Doğal ve kültürel peyzaj alanlarının planlanması ve tasarımında peyzajın görsel kalitesinin değerlendirilmesi, karar vermeyi yönlendirici önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Bir alanın mevcut peyzaj karakterinin saptanması ve görsel peyzaj kalitesinin değerlendirilmesi, o alanın rekreasyonel kullanım potansiyelini anlamak açısından da önem taşımaktadır. Bu çalışma doğal ve kültürel peyzaj alanlarının görsel peyzaj kalitesini etkileyen unsurları ortaya koymak amacıyla İskenderun-Arsuz sahil bandında yürütülmüştür. Konuyla ilgili çalışmalara (Aklıbaşında ve Bulut 2018; Özhancı ve Yılmaz 2011; Benliyay ve ark., 2015; Gültürk ve Şişman, 2015) benzer olarak elde edilen sonuçlar, peyzaj alanlarının doğallık, çeşitlilik, uyum, açıklık, perspektif, bakım, düzen, güven ve manzara güzelliği ile beğenilme ve rekreasyonel kullanımlar için tercih edilme düzeyi arasında olumlu yönde kuvvetli bir ilişkili olduğunu göstermiştir. Deniz, çağlayan, dağ, vadi, kanyon gibi doğal oluşumların, kentsel ya da insan müdahalesinin yoğun hissedildiği yarı doğal peyzaj alanlarına kıyasla görsel olarak daha çekici bulunduğu saptanmıştır. GPK ölçütleri içinde en yüksek ilişki bakım-düzen ölçütleri arasında bulunmuştur. Bu durum görsellerdeki su, bitki örtüsü gibi doğal peyzaj elemanları ile ve yapısal öğelerin düzenli bir şekli olduğunda veya net düzenlemelere sahip olduğunda daha çok algılandığını ve beğenildiğini göstermektedir.

Peyzaj alanlarının görsel kalitesini belirlemek için farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, Daniel ve Boster (1976)'nın geliştirdiği ve bu çalışmada kullanılan Manzara Güzelliği Değerlendirme Yöntemi ile elde edilen sonuçların, peyzaj planlama ve tasarımı çalışmalarında güvenilir altlık veri üretmek için kullanılabilmesi görülmüştür. Peyzaj alanların rekreasyonel etkinlikler için tercih edilmesinde görsel peyzaj kalitesinin önemli bir rolü vardır. Bir alanın görsel peyzaj yapısı ne kadar doğal, çeşitli, uyum içinde, açık, geniş ve panoramik bir perspektife sahip, bakımlı, düzenli, güvenli ve manzaralı ise o alanı beğeni düzeyi o oranda yükselmektedir. Bu nedenlerle, kentsel ve kırsal çevrelerin, rekreasyon alanlarının planlama, tasarım ve yönetiminde önemli rol alan karar vericilerin, uzman ve kullanıcı görüşlerini dikkate alarak görsel peyzaj kalite değerlendirmelerini kullanmaları önemlidir.

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

- Adıgüzel E. Bursa ili Gölbaşı Göleti'nde rekreasyonel ve turistik alanların görsel peyzaj kalitesi yönünden değerlendirilerek rekreasyonel ve turistik etkinliklerin belirlenmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2019.
- Ak MK. Akçakoca kıyı bandı örneğinde görsel kalitenin belirlenmesi ve değerlendirilmesi üzerine bir araştırma, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 2010.
- Aklıbaşında M., Bulut Y. Kırsal turizm planlamasında farklı peyzaj tiplerinin görsel kalite yönünden değerlendirilmesi, Akademik Ziraat Dergisi 2018; 7(1): 93-100.
- Amir S., Gidalizon E. Expert-based method for the evaluation of visual absorption capacity of the landscape. Journal of Environmental Management 1990; 30(3): 251-263.
- Anderson L., Mosier J., Chandler G. Visual absorption capacity. In: Proceedings of our National Landscape. A Conference on Applied Techniques for Analysis and Management of Visual Resources, 23-25 April 1979, Incline Village, Nevada. USDA (United States Department of Agriculture), Forest Service, General Technical Report PSW-35, pp. 164-171.
- Arriaza M., Cañas-Ortega JF., Cañas-Madueño JA., Ruiz-Aviles P. Assessing the visual quality of rural landscapes. Landscape and Urban Planning 2004; 69(1): 115-125.
- Asur F, Alphan H. Görsel peyzaj kalite değerlendirmesi ve alan kullanım planlamasına olan etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi 2018; 28(1): 117-125.
- Aytaş İ., Uzun S. Düzce kent merkezindeki yaya alanlarının görsel peyzaj kalitesinin belirlenmesi. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University 2015; 65(1): 11-29.
- Baltacı A. Nitel araştırmalarda örnekleme yöntemleri ve örnek hacmi sorunsalı üzerine kavramsal bir inceleme. BEÜ SBE Dergisi 2018; 7(1): 231-274.
- Benliay A., Soydan O., Kayku M. Aspendos-Sillyon-Perge bisiklet güzergahı örneğinde peyzaj görsel kalitesi ve peyzaj özelliklerinin değerlendirilmesi. Artium 2015; 3(1): 48-64.
- Burmil S, Daniel TC. Hetherington JD. Human values and perception of water in arid landscapes. Landscape and Urban Planning 1999; 44(2): 99-109.
- Clay GR., Daniel TC. Scenic landscape assessment: the effects of land management jurisdiction on public perception of scenic beauty. Landscape and Urban Planning 2000; 49(1-2): 1-13.
- Clay GR., Smidt RK. Assessing the validity and reliability of descriptor variables used in scenic highway analysis. Landscape and Urban Planning 2004; 66(4): 239-255.

- Çağlayan Kaptanoğlu AY. Peyzaj değerlendirmesinde görsel canlandırma tekniklerinin kullanıcı tercihine etkileri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul, 2006.
- Daniel TC. Whither scenic beauty? Visual landscape quality assessment in the 21st century. *Landscape and Urban Planning* 2001; 54(1-4): 267-281.
- Daniel TC., Boster RS. Measuring landscape esthetics: the scenic beauty estimation method. Research Paper, RM-RP-167, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO, 1976.
- Dere EE. Peyzaj görsel analizi ve değerlendirilmesi: Tem Otoyol örneği, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 2017.
- Fuente de Val G., Aauri AJ., Lucio JV. Relationship between landscape visual attributes and spatial pattern indices: A test study in Mediterranean- climate landscapes. *Landscape and Planning* 2006; 77(4): 393-407.
- Gültürk P., Şişman E.E. Tekirdağ kent merkezi kıyı şeridinin görsel peyzaj kalitesi yönünden değerlendirilmesi ve mekan tercihinin etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2015; 12(1): 81-89.
- Güneroğlu N. Akarsu rehabilitasyonunun peyzaj kalitesi üzerindeki etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 2017; 18(1): 10-20.
- Kıroğlu E. Erzurum kenti ve yakın çevresindeki bazı rekreasyon alanlarının görsel peyzaj kalitesi yönünden değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 2007.
- Neuman WL. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches (Seventh Ed.)*. Pearson, 2014.
- Özgüç İM. TEM Hadımköy – Kınalı Arası peyzaj planlaması üzerinde görsel araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 1999; 49(2): 115-132.
- Özgüç Erdönmez İM., Çağlayan Kaptanoğlu AY. Peyzaj estetiği ve görsel kalite değerlendirmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 2008; 58(1): 39-51.
- Özhancı E., Yılmaz H. Rekreasyon alanların görsel peyzaj kalitesi yönünden değerlendirilmesi; Erzurum örneği. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2011; 1(2): 67-76.
- Özvan H. Van Gölü Doğu kıyı alanlarının görsel peyzaj kalitesi açısından değerlendirilmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Van, 2020.*
- Pitt DG. The attractiveness and use of aquatic environments as outdoor recreation places. In: Altman I, Zube EH (Eds.): *Public Places and Spaces: Human Behavior and Environment*. US: Springer 1989; 10: 217-254.
- Polat AT., Önder S. Konya ili kent parklarının görsel kalitesinin belirlenmesi. I. Konya Kent Sempozyumu, 26-27 Kasım 2011; s: 347-357, Konya.

- Tanış Ö. Üniversite öğrencilerinin Gümüşhane ili rekreasyon alanları üzerine görsel kalite değerlendirmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 2019.
- Unwin KI. The relationship of observer and landscape in landscape evaluation. *JSTOR Transactions of the Institute of British Geographers* 1975; 66: 130-134.
- Uzun O., İlke EF., Çetinkaya G., Erduran F., Açıksöz S. Peyzaj planlama: Konya İli Bozkır-Seydişehir-Ahırlı-Yalılıyük ilçeleri ve Suğla Gölü Mevkii peyzaj yönetimi koruma ve planlama projesi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara, 2012.
- Yalçinkaya NM. Adana ili-Kozan ilçesinin ekoturizm potansiyelinin sürdürülebilir turizm yaklaşımıyla araştırılması. *Turkish Journal of Forest Science* 2021; 5(2), 478-495.
- URL 1. İ-F1. Hatay Tube, 2018. Facebook.
<https://www.facebook.com/hataytube/photos/pcb.2036908346334021/2036908153000707/>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 2. İ-F2. Hatay Tube, 2022. Facebook.
<https://www.facebook.com/hataytube/photos/a.223021041056103/3550441998313974> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 3. İ-F3. İskenderun Gazetesi, 2020. <http://www.iskenderungazetesi.com/wp-content/uploads/2020/09/yarikkaya-mevki1.jpg> (Erişim Tarihi: 30.05.2021).
- URL 4. İ-F4. Hatay Doğal Güzellikleri, 2021. <https://otelleri.net/hatay-dogal-guzellikleri.htm> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 5. İ-F5- Hatay Doğal Güzellikleri, 2021. <https://otelleri.net/hatay-dogal-guzellikleri.htm> (Erişim Tarihi: 30.05.2021).
- URL 6. İ-F6. Keçeli, A. GrafıMX. Sarıseki Kanyonu, 2014. <https://www.grafimx.com/photo/83998>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 7. İ-F7. Hataytube İskenderun Kaledibi Şalen Kalesi, 2021. Facebook.
<https://m.facebook.com/hataytube/photos/pcb.4383181911706641/4383181785039987/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 8. İ-F8. Bir Sarısekimiz Var, 2019. Facebook.
<https://www.facebook.com/SAYADER2019/photos/pcb.443885322863015/443885296196351/>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 9. İ-F9. Antik Sarıseki Kalesi, 2018. <https://antik-sariseki-kalesi.business.site/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 10. İ-F10. Çağlayan Alabalık Tesisleri, 2019. Facebook.
<https://www.facebook.com/%C3%87a%C4%9Flayan-Alabalik-Tesisleri-741779479205524/>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).

- URL 11. İ-F11. Hatay Doğal Güzellikleri, 2021. <https://otelleri.net/hatay-dogal-guzellikleri.htm>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 12. İ-F12. Hatay Press. İskenderun Millet Parkı Hizmete Açıldı, 2019.
<http://www.hataypress.net/iskenderun-millet-parki-hizmete-acildi.html> (Erişim Tarihi:
30.05.2021).
- URL 13. İ-F13. İskenderun Sahil, 2016. Facebook.
<https://www.facebook.com/1511986409107560/photos/a.1512086042430930/1512086062430928> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 14. İ-F14. İskenderun Gazetesi. İskenderun İl Olacak, 2021.
<https://www.iskenderungazetesi.com/iskenderun-il-olacak/> (Erişim Tarihi: 30.05.2021).
- URL 15. İ-F15. Hatay Haber. İskenderun Batı Çıktı Projesi, 2019.
<https://www.hatayrehber.com/forum/konu/iskenderun-batti-cikti-projesi.3699/> (Erişim Tarihi:
30.04.2021).
- URL 16. A-F16. Gezilecek Yerler TR. Arsuz Gezilecek Yerler – En Muhteşem 9 Yer, 2021.
<https://gezilecekyerlertr.com/arsuz-gezilecek-yerler/> (Erişim Tarihi: 30.05.2021).
- URL 17. A-F17. Antakya Gazetesi. Gündem, Bisiklet Yolu Güzel, 2020.
<https://antakyagazetesi.com/bisiklet-yolu-guzel/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 18. A-F18. Antakya Gazetesi. Gündem, 41 Yat Arsuz Marina'da, 2019.
<https://antakyagazetesi.com/41-yat-arsuz-marinada/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 19. A-F19. İskenderun Haber. Arsuz'da 45 Bin Dönüm Arazi Tarımsal Sit Alanı İlan Edildi,
2017.
<https://www.iskenderunhaber.com/dosyalar/2017/03/arsuz.jpg> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 20. A-F20. Bayram, Y. Bölgemizin Kıymetlilerinden Zeytin Ağaçları. Arsuz, 2015. Facebook.
<https://www.facebook.com/photo?fbid=10153242226987992&set=a.391202739664756> (Erişim
Tarihi: 30.04.2021).
- URL 21. A-F21. Bayram, Y. Meryem Ana Havuzu, Hacı Ahmetli Köyü, Arsuz 2010. Facebook.
<https://www.facebook.com/photo/?fbid=315297832991&set=a.315297612991>
(Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 22. Gülten, F. Bozulmamış Doğasıyla Güzeller Güzeli Arsuz, 2019.
<https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/yazarlar/filiz-gulten/bozulmamis-dogasiyla-guzeller-guzeli-arsuz-41328916> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 23. A-F23. Devrim, R. Aşıklar tepesinden Aşıyan Sitesi manzarası, Arsuz, 2015. Facebook.
<https://www.facebook.com/photo/?fbid=10153243530967992&set=a.435454197991> (Erişim
Tarihi: 30.04.2021).
- URL 24. A-F24. Güven, A. Arsuz Atatürk Kent Meydanı, 2019. Facebook.
<https://www.facebook.com/drasafguven/posts/1054259734766959/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).

- URL 25. A-F25. Tokdemir, İ. Rhossus Antik Kent ve Arsuz Eski Köy İçi Sokak İyileştirilmesi Projesi, 2021. Twitter. <https://twitter.com/tokdemirismet/status/1408491147966697473/photo/4> (Erişim Tarihi: 09.09.2022).
- URL 26. A-F26. İskenderun Gazetesi. Kaymakam Sarı; “Bodrum Havasında Bir Arsuz Yaratacağız”, 2020. <https://www.iskenderungazetesi.com/kaymakam-sari-bodrum-havasinda-bir-arsuz-yaratacagiz/> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 27. A-F27. Ses. Günlük Siyasi Bağımsız Gazete. Arsuz’un ana caddesi de kapatıldı, 2020. <http://www.iskenderunes.net/haber/arsuzun-ana-caddesi-de-kapatildi-11815.html> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 28. A-F28. Arsuz Plajı Özellikleri Konaklama ve Giriş Ücreti, 2021. <https://www.kampyerleri.org/arsuz-plaji-ozellikleri-konaklama-ve-giris-ucreti/> (Erişim Tarihi: 01.05.2021).
- URL 29. A-F29. Karaağaç Plajı, 2020. Tripadvisor. <https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/10/01/5a/a5/photo4jpg.jpg> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- URL 30. A-F30. Bayram, Y. Arsuz, 2010. Facebook. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=315307442991&set=a.315306857991> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).

Atık Kırmızı ve Beyaz Üzüm Posalarının Alternatif Kaba Yem Kaynağı Olarak Silolanmasının Besin Madde Kompozisyonu ve Silaj Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri

İsmail ÜLGER^{1*}, Mustafa ÖZDEMİR²

^{1,2} Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, 38280, Kayseri

¹<https://orcid.org/0000-0003-3606-0737>

²<https://orcid.org/0000-0001-6160-2484>

*Sorumlu yazar: e-mail: i_ulger@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.08.2022

Kabul tarihi: 25.12.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Üzüm posası

Kaba yem

Silaj

Besin madde

Kalite

ÖZ

Bu çalışma meyve suyu sanayi atığı kırmızı ve beyaz üzüm posası ile yapılan silajların pH, kimyasal kompozisyon, hücre duvarı bileşenleri, Fleig puanları, metabolik enerji ve organik madde sindirilebilirlik değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada kuru madde, ham protein, ham selüloz, ham yağ, ADF, NDF ADL, hemiselüloz, pH, suda çözünabilir karbonhidrat, Fleig puanı, metan üretimi, toplam gaz üretimi içinde metan oranı kırmızı üzüm posasında daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı belirlenmiştir. Toplam sindirilebilir besin, selüloz olmayan karbonhidrat, organik madde sindirilebilirlik derecesi, gaz üretimi, gaz üretiminin metabolik enerjisi ve metabolik enerji beyaz üzüm posasında daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Kırmızı üzüm posası ham kül içeriği açısından daha yüksek çıkmıştır ve istatistiksel ($P<0,05$) olarak önemli bulunmuştur. Kırmızı ve beyaz üzüm posaları besin madde ve silolanabilirlik özellikleri açısından önemli farklılıklara rastlanmamıştır. Elde edilen sonuçlar üzüm posasının tek başına veya diğer yem hammaddeleri veya posalarla birlikte silaj materyali olabileceğini göstermektedir. Üzüm suyu sanayi her yıl yüksek miktarda üzüm posası ortaya çıkartmaktadır. Üzüm posasının silajı yapılarak ruminant beslemede kullanılabilir olduğu öngörülmektedir. Üzüm posasının hayvan yemi olarak kullanılması önemlidir çünkü çevreye atık olarak bırakılacak posaların azalması ile birlikte çevre kirliliğinin de azalacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak ekonomik anlamda da katkısının olacağı görülmektedir.

Effects of Ensiling Waste Red and White Grape Pulp as Alternative Forage Source on Nutrient Composition and Silage Quality Traits

Research Article

Article History:

Received: 11.08.2022

Accepted: 25.12.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Grape

pomace

Forage

Silage

Nutrients

Quality

Pulp

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effects of red and white grape pulp silages obtained from the fruit juice industry on pH, chemical composition, cell wall components, Fleig scores, metabolic energy, and organic matter digestibility values. In the study, dry matter, crude protein, crude fiber, crude oil, ADF, NDF ADL, hemicellulose, pH, water-soluble carbohydrate, Fleig score, methane production, and methane ratio in total gas production was higher than red grape pulp, but it was determined that this difference was not statistically significant ($P=0.05$). Total digestible nutrients, non-cellulose carbohydrates, organic matter digestibility degree, gas production, metabolic energy of gas production, and metabolic energy were higher in white grape pulp, but this difference was not statistically

significant ($P=0.05$). Red grape pulp was higher in terms of raw ash content and was statistically significant ($P<0.05$). No significant differences were found between the red and white grape pulps. The obtained results show that grape pulp can be silage material alone or with other feed raw materials or pulp. The grape juice industry produces large quantities of grape pulp each year. It is envisaged that grape pulp can be used as silage for feeding ruminant animals. The use of grape pulp as animal feed is important because it is thought that environmental pollution will decrease with the reduction of pulp being left as waste to the environment. It is also seen that it will contribute economically.

To Cite: Ülger İ., Özdemir M. Atık Kırmızı ve Beyaz Üzüm Posalarının Alternatif Kaba Yem Kaynağı Olarak Silolanmasının Besin Madde Kompozisyonu ve Silaj Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 792-805.

1. Giriş

Silaj, besin değeri yüksek, uzun süre depolamaya dayanıklı ve hayvanların faydalandığı alternatif kaba yemlerden birisidir (Kung ve ark., 2018). Yapımının kolay olması, birçok materyalden elde edilebilmesi, yapımında iş gücünün düşük olması nedeniyle kuru ota tercih edilebilecek bir alternatif olarak görülen silaj, taze yeşil ot bulunmayan dönemlerde ucuz ve yeterli yem kaynağı olarak görülebilir (Ülger ve ark.2020a;Özdemir ve Okumuş, 2022). Birçok yem bitkisi ve posadan başarıyla silaj yapılabilir (Ayaşan ve ark.,2020;Büyükkılıç Beyzi ve ark., 2018; Büyükkılıç Beyzi ve ark., 2022).

Dünyada 2020 yılında 78,034,332 ton üzüm üretimi gerçekleşirken Türkiye’de 4,208,908 ton üretim gerçekleşmiştir. (FAO, 2020; TÜİK, 2021). Üzüm posası kolay geri kazanılabilen ve çeşitli biyolojik bileşiklerce zengin kaynaklarıdır (Hogervorst ve ark., 2017). Üzüm hasadının kısa sürede bitmesi nedeniyle yüksek miktarda üzüm posası ortaya çıkar ve posanın yaş depolanması sırasında içinde barındırdığı fenolik bileşikler pH seviyesini düşürebilir ve çevre kirliliği oluşturabilir (Beres ve ark., 2017). Üzüm posası, farklı işleme teknikleri ile üretilen üzüm suyu, pekmez, şarap ve sirke gibi ürünlerden geriye kalan, lignin içeriği yüksek atık maddedir. Üzüm posası miktarı, üzüm çeşidine, presleme işlemi ve fermantasyon adımlarına bağlıdır. Üzüm posası genel olarak işlemde kullanılan üzüm ağırlığının %20-30’u arasında olduğu görülmüştür (Beres ve ark., 2017). Üzüm posası içerdiği yüksek su miktarı nedeniyle depo şartlarında uzun süre saklanması mümkün olmadığı ve kısa sürede oluşacak bozulmalar ile yem olarak değerlendirilmesinin çok zorlaştığı belirtilmiştir (Özdüven ve ark., 2005; Ülger ve ark., 2015). Üzüm posasının hayvan yemi olarak kullanımından istenilen verim alınamamıştır. Son yıllarda ortaya çıkan üzüm posasının sadece %3’ünün hayvan yemi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir (Brenes ve ark., 2016). Üzüm posasının yüksek miktarda ortaya çıkması nedeniyle hayvan yemi olarak kullanılması yem maliyetlerini düşürme açısından önemlidir.

Son dönemde yaşanan iklim değişikliği ve su kaynaklarında yaşanan azalmanın ardından gıda üretim ve kalitesi daha büyük bir öneme sahip olmuştur. Üzüm posasının kullanımı sadece çevre kirliliği etkisini azaltmakla kalmayıp hayvan yeminde yaşanan sorunlarında hafiflemesine neden olabilecektir (Abarghuei ve ark., 2010; Parvin ve ark., 2010;Ülger ve ark.,2017).

Bu çalışma, beyaz üzüm posası (BÜP) ile kırmızı üzüm posasının (KÜP) silolanması ile elde edilen silajların, pH, kimyasal kompozisyon, hücre duvarı bileşenleri, Fleig puanları, metabolik enerji ve organik madde sindirilebilirlik değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Meyve suyu sanayi atıkları olan üzüm posaları özel bir kuruluştan taze olarak temin edilmiştir. Temin edilen üzüm posaları aynı gün silolanmıştır. Her bir muamele grubu 3 tekerrürlü olarak bir litre hacmindeki cam kavanozlara hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Cam kavanoz kapakları silo suyunun drenaj yapılabilmesi için delinmiştir. Drenajın tam olarak yapılabilmesi için 24 saat ters çevrilerek bekletilmiştir. Bu işlemin ardından kavanozlar 60 gün boyunca fermentasyon için bekletilmiştir. 60 gün süren inkübasyon sonucunda kavanozlar açılmıştır.

Silajların pH değeri açıldıktan hemen sonra ölçülmüştür. pH değeri ölçümü 25 g silaj örneği bir behere alınmış, üzerine 100 ml distile su ilave edilmiş ve 5 dakika blender ile parçaladıktan sonra ölçümler yapılmıştır. Silaj kalite belirlenmesi için Fleig puanlama sistemi kullanılmış ve Kılıç (1984)'ın belirttiği gibi Fleig Puanı=[220+(2x%Kuru Madde-15)-40xpH] eşitliği ile hesaplamalar yapılmıştır. Silaj kalitesine ait puan skalası bu şekildedir: 20-0=Kötü, 21-40=Orta, 41-60=Memnuniyet verici, 61-80=İyi, 81-100=Pekiyi.

Silajda ham yağ (HY), ham protein (HP), ham kül (HK) ve kuru madde (KM) analizleri AOAC (1990)'e göre yapılmıştır. Nötral deterjan fiber (NDF), asit deterjan fiber (ADF) ve asit deterjan lignin (ADL) analizleri Goering ve Van Soest (1970) tarafından belirtilen yöntemlerle yapılmıştır. Metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) değerleri için Blümmel ve Ørskov (1993), organik madde sindirilebilirlik derecesi (OMSD) için Menke ve ark. (1979) tarafından geliştirilen aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\text{OMSD (\%)} = 14.88 + 0.8893 \times \text{GÜ} + 0.0448 \times \text{HP} + 0.0651 \times \text{HK}$$

$$\text{ME (MJ/kg KM)} = 2.20 + 0.136 \times \text{GÜ} + 0.0057 \times \text{HP} + 0.00029 \times \text{HY}$$

$$\text{NEL (MJ/kg KM)} = 0.1149 \times \text{GÜ} + 0.0054 \times \text{HP} + 0.0139 \times \text{HY} - 0.0054 \times \text{HK} - 0.36$$

(GÜ: 24 saatlik fermentasyon sonucu açığa çıkan gaz miktarı (ml); HP: Yemin ham protein içeriği (g/kg KM); HY: Yemin ham yağ içeriği (g/kg KM); HK: Yemin ham kül içeriği (g/kg KM))

Yem ham maddelerinin in vitro koşullarda sindirilebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesinde Menke ve Steingass (1988) tarafından bildirilen Gaz Üretim Tekniği kullanılmıştır. Yöntemde yemlerin gaz üretimini saptayabilmek için 100 ml hacimli özel cam şırıngalar (Model Fortuna, Häberle Labortechnik, LonseeEttleschie, Germany) kullanılmış ve yaklaşık 0.200 g kuru yem örnekleri üç tekerrürlü olarak cam şırıngalar içerisine konulmuştur. Gaz oluşumunu sağlamak amacıyla tüplerin içerisine 10 ml rumen sıvısı ve 20 ml çözelti konmuştur. Rumen sıvısıyla birlikte kullanılan bu çözelti 620 ml saf su + 310 ml makro element çözeltisi 0.16 ml iz element çözeltisi + 310 ml tampon çözelti +1.6 ml resazurin ve redüksiyon çözeltilerinden oluşmaktadır. Bu işlemden sonra tüpler 39°C'deki su banyosunda inkübasyona alınmışlardır. Daha sonra sırasıyla inkübasyonun 3, 6, 12, 24, 48, 72 ve 96.

saatlerinde tüpler içerisinde üretilen gaz miktarları saptanmıştır. İn vitro gaz üretim tekniğinin uygulanması amacıyla kesimhaneden Kıvrıcık koç rumen sıvısı alınmıştır.

Ham selüloz (HS) ve Asit deterjan lignin (ADL) belirlenmesi Bulgurlu ve Ergül (1978) tarafından belirtilen Lepper yöntemi ile yapılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler istatistiksel olarak SPSS 21 (2012) paket programında Bağımsız Örneklem T-Testi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizde önem derecesi $p<0,05$ olarak alınmıştır. Çizelgelerde ortalama değerler ve standart sapma değerleri verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Üzüm posalarına ait kuru madde (KM), ham kül (HK), ham protein (HP), ham selüloz (HS), ham yağ (HY), asit deterjan fiber (ADF), nötral deterjan fiber (NDF), asit deterjan lignin (ADL) ve hemiselüloz (HEM) oranı Tablo 1’de verilmiştir. Gruplar arasında HK oranında belirlenen farklılıkların istatistiksel anlamda farklı olduğu tespit edilmiştir. KH, HP, HS, HY, ADF, NDF, ADL ve HEM oranlarında bulunan farklılıkların istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 1. Beyaz Üzüm Posası ve Kırmızı Üzüm Posasının hücre duvarı bileşenleri ve kimyasal kompozisyona etkileri

| | BÜP | KÜP | P | F |
|--------|------------------------|------------------------|--------|-------|
| KM, % | 50,06±0,43 | 51,72±6,03 | 0,092 | 4,848 |
| HK, % | 6,43±0,04 ^b | 6,75±1,14 ^a | < 0.05 | 8,814 |
| HP, % | 8,85±0,55 | 9,42±1,81 | 0,121 | 3,863 |
| HS, % | 28,26±4,77 | 28,86±4,29 | 0,712 | 0,157 |
| HY, % | 6,93±0,51 | 7,07±0,76 | 0,496 | 0,559 |
| ADF, % | 39,56±4,09 | 40,70±2,52 | 0,395 | 0,905 |
| NDF, % | 44,40±3,71 | 45,78±1,65 | 0,167 | 2,851 |
| ADL, % | 11,29±0,99 | 11,84±1,89 | 0,208 | 2,252 |
| HEM, % | 4,84±2,07 | 5,08±0,88 | 0,254 | 1,775 |

BÜP: Beyaz Üzüm Posası, KÜP: Kırmızı Üzüm Posası, KM: Kuru madde, HEM: Hemiselüloz, HY: Ham yağ, HK: Ham kül, HP: Ham protein, HS: Ham selüloz, ADF: Asit deterjan fiber, NDF: Nötral deterjan fiber, ADL: Asit deterjan lignin.

BÜP ve KÜP gruplarının hücre duvarı bileşenleri ve kimyasal kompozisyona etkileri Tablo 1’de verilmiştir.

Çalışmada KM oranı BÜP grubunda %50,06 olarak bulunurken, KÜP grubunda %51,72 olarak bulunmuştur. KM oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Üzüm posası silajı ile ilgili çok sayıda çalışma vardır. Üzüm posasında Özdüven ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada (%35,16), Boylu (2009) tarafından yapılan çalışmada (%36,21 ve %40,58), Baumgärtel ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada (%27,3 ve %30,5) ve Santos ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada (%33,7) üzüm posası silajında KM oranının daha düşük olduğu bildirilmiştir. Farklı posalarla yapılan çalışmalarda

Köksal (2020) tarafından dut posasının silajı çalışmasında KM oranı %22,31, Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan farklı turunçgil posası ile yapılan silajlarda KM oranı %6.76-9.66 olarak bildirilmiştir. Bunun aksine Özkan (2019) tarafından yapılan çalışmada yaş şeker pancarı posası silajında KM oranı %70.06 olarak bildirilmiştir.

Çalışmada HK oranı BÜP grubunda %6,43 olarak bulunurken, KÜP grubunda %6,75 olarak bulunmuştur. HK oranı açısından KÜP grubu daha yüksek olduğu belirlenmiştir ve oluşan farklılık, istatistiksel ($P=0,05$) açıdan da önemlidir. Canbolat ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada (%4,26) ve Martins Flores ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada (%4,48) ve Fitri ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada (%6,67-8,08) üzüm posası silajlarında HK oranının daha düşük bulunduğu bildirilmiştir. Başar ve Atalay (2020) tarafından gerçekleştirilen turunçgil posalarının ruminant beslemede alternatif yem kaynağı olarak kullanımı çalışmasında HK oranının %3,26-5,33 arasında değiştiği bildirilmiştir. Ülger ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada yaş şeker pancarı posası silajında HK oranı %4,60 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada HP oranı BÜP grubunda 8,85 olarak bulunurken, KÜP grubunda 9,42 olarak bulunmuştur. HP oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Baumgärtel ve ark. (2007) çalışmasında (%9,3 ve %15,5), Boylu (2009) tarafından yapılan çalışmada (%10,20 ve %11,60), Spanghero ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada (%10,3), Canbolat ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada (%10,77) ve Massaro Junior ve ark. (2022) tarafından yapılan (%13,98) üzüm posası silajında HP oranının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Farklı meyve posaları ile yapılan çalışmalarda Başar ve Atalay (2020) farklı turunçgil posalarından silaj yapımı çalışmasında HP oranı %6.50-11.46, Köksal (2020) tarafından yapılan çalışmada dut posası silajında HP oranı %15,38 olarak bildirilmiştir.

Çalışmada HS oranı BÜP grubunda %28,26 olarak bulunurken, KÜP grubunda %28,86 olarak bulunmuştur. HS oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Boylu (2009) tarafından üzüm posası silajlarında farklı katkı maddesi kullanımının fermentasyon gelişiminin araştırıldığı çalışmada HS oranı (%28,79 ve %29,50) benzer bulunduğu bildirilmiştir. Ülger ve ark. (2015) tarafından yapılan yaş şeker pancarı posası silajının kalite özelliklerinin araştırıldığı çalışmada HS oranı daha düşük (%16,79), bunun aksine Yalçınkaya ve ark. (2012) tarafından farklı meyve posası silajlarının besin değerlerini belirleme üzerine yapılan çalışmada (%31.16-33.74) ve Özkan (2019) tarafından yapılan yaş şeker pancarı posası silajı çalışmasında (%35,14) elde edilen sonuçların daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada HY oranı BÜP grubunda 6,93 olarak bulunurken, KÜP grubunda 7,07 olarak bulunmuştur. HY oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Baumgärtel ve ark. (2007) tarafından farklı üzüm çeşitlerinin posasından silaj yapılan çalışmada HY oranı (%4,8 ve %7,0) yakın değerlerde çıktığı bildirilmiştir. Canbolat ve ark. (2014) tarafından yapılan (%8,39) ve Spanghero ve ark. (2009) (%10,3) tarafından yapılan üzüm posası çalışmalarında HY oranının daha yüksek bulunduğu, bunun aksine Ülger ve ark.

(2015) tarafından yapılan çalışmada yaş şeker pancarı posasında çalışmasında (%2,57) ve Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan şeftali posası silajı çalışmasında (%4.60) daha düşük bulunduğu bildirilmiştir. Başar ve Atalay (2020) tarafından farklı turuncgil posalarının silajları üzerine yapılan çalışmada HY oranının çok geniş ölçüde bulunduğu (%4,84-21,01) arasında değiştiği bildirilmiştir.

Çalışmada ADF oranı BÜP grubunda 39,56 olarak bulunurken, KÜP grubunda 40,70 olarak bulunmuştur. ADF oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Canbolat ve ark. (2014) tarafından nar posası silajı ile yapılan çalışmada (%40.28) benzer değerde bulunduğu bildirilmiştir. Üzüm posası silajında Spanghero ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada (%38,6) ve Canbolat ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada (%30,76) daha düşük bulunurken, Boylu (2009) tarafından yapılan çalışmada (%50,82 ve %52,69) ve Massaro Junior ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda (%56,59) daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada NDF oranı BÜP grubunda %44,40 olarak bulunurken, KÜP grubunda %45,78 olarak bulunmuştur. NDF oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Canbolat ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında NDF oranı (%44,13) benzer değerlerde bulunduğu bildirilmiştir. Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan çalışmada şeftali posası silajında (%49.66) ve Canbolat ve ark. (2014) tarafından yapılan nar posası silajında (%58.59) daha yüksek, Spanghero ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (%40,4) ve Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan farklı turuncgil posası silajlarında (%16,70-29,05) daha düşük olduğu bildirilmiştir.

Çalışmada ADL oranı BÜP grubunda 11,29 olarak bulunurken, KÜP grubunda 11,84 olarak bulunmuştur. ADL oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan şeftali posası silajında (%11.68) benzer değerlerde olduğu bildirilmiştir. Baumgärtel ve ark. (2007) tarafından yapılan (%20,2 ve % 26,7), Boylu (2009) tarafından yapılan (%36,48 ve %42,09) üzüm posası silajlarında daha yüksek olduğu Ülger ve ark. (2015) tarafından yapılan yaş şeker pancarı posası silajında (%7,87), daha düşük bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada HEM oranı BÜP grubunda 4,84 olarak bulunurken, KÜP grubunda 5,08 olarak bulunmuştur. HEM oranı açısından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Ülger ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada elma posasında (%11,16), şeker pancarı posası silajında (%24,80), mısır silajında (%23,45) ve bal kabağı posası silajında (%13,64), Şengül ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada yonca silajında (%9,87), %15 oranında nar posası eklenen yonca silajında ise (%11,41), Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan çalışmada şeftali posasında (%12.47) HEM oranının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Çalışmada bulunan sonuçlar literatür değerine göre genel olarak daha az çıkmıştır.

Üzüm posalarına ait pH, toplam sindirilebilir besin (TSB), toplam karbonhidrat (TK), suda çözünebilir karbonhidrat (SÇK), organik madde sindirilebilirlik derecesi (OMSD) ve Fleig puanı (FP) Çizelge

2’de verilmiştir. Silaj kalitesinin belirlenmesinde önemli kriterlerden birisi de silajların pH değeridir (Kiermeier ve Renner 1963). Silajda optimum pH değerinin 3,5-4,0 arasında olması gerekmektedir (Kutlu, 2002). Silo yemlerinin niteliklerinin belirlenmesinde kolay bir yöntem olan fleig puanı, pH ve kuru madde oranına göre hesaplanmakta ve pH ile kuru madde oranına etki eden her faktör fleig puanı üzerine de etkili olmaktadır (Woolfort, 1984; Kılıç, 1986). Silo yeminde istenilen pH ve kuru madde oranı sağlandığında, fleig puanı da yüksek olmaktadır. Yapılan çalışmada elde edilen pH değeri ve kuru madde oranlarına göre silajların fleig puanı 100 puanın üzerinde değerler bulunmuştur.

Gruplar arasında TK oranında belirlenen farklılıkların istatistiksel anlamda farklı olduğu tespit edilmiştir. pH, TSB, SÇK, OMSD ve FP bulunan farklılıkların istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli bir farklılığın olmadığı görülmektedir.

BÜP ve KÜP gruplarının besin değeri ve Fleig puanları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Beyaz Üzüm Posası ve Kırmızı Üzüm Posasının Besin Değeri ve Fleig Puanları

| | BÜP | KÜP | P | F |
|---------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|
| pH | 3,62±0,30 | 3,77±0,22 | 0,424 | 0,791 |
| TSB, % | 75,00±2,52 | 74,06±1,12 | 0,167 | 2,845 |
| TK, % | 77,79±0,09 ^a | 76,77±1,60 ^b | < 0.05 | 12,576 |
| LOK, % | 33,39±3,75 | 30,99±3,14 | 0,699 | 0,173 |
| SÇK, % | 3,46±0,54 | 3,69±1,17 | 0,261 | 1,710 |
| OMSD, % | 44,44±3,12 | 44,19±0,08 | 0,086 | 5,150 |
| FP | 160,20±11,94 | 157,65±20,83 | 0,497 | 0,558 |

BÜP: Beyaz Üzüm Posası, KÜP: Kırmızı Üzüm Posası, TSB: Toplam sindirilebilir besin, TK: Toplam karbonhidrat, SÇK: Suda çözünebilir karbonhidrat, LOK: Selüloz olmayan karbonhidrat OMSD: Organik madde sindirilebilirlik derecesi, FP: Fleig puanı.

Çalışmada pH değeri BÜP grubunda 3,62 olarak bulunurken, KÜP grubunda 3,77 olarak bulunmuştur. pH değeri bakımından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem olmadığı görülmüştür. Boylu (2009) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında pH değeri (3,53 ve 3,64) yakın değerlerde çıktığı bildirilmiştir. Üzüm posası silajında pH değerini belirleme amacıyla Can ve ark. (2004) tarafından yapılan (4,62) ve Santos ve ark. (2014) tarafından yapılan (4,11) çalışmasında daha yüksek, bunun aksine Özdüven ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada (3,55) daha düşük sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Farklı meyve posaları ile yapılan çalışmalarda, Başar ve Atalay (2020) turuncgil posalarında pH değeri 2,72-3,48, Ülger ve ark. (2015) yaş şeker pancarı posasının farklı meyve posaları ile silajında pH değeri 3,59-4,35 olarak bildirilmiştir.

Çalışmada TSB oranı BÜP grubunda %75,0 olarak bulunurken, KÜP grubunda %74,06 olarak bulunmuştur. TSB oranı bakımından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği silajında (%84,71) ve Ülger ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada limon posası silajında (%85,56), portakal posası silajında (%85,64) ve mandalina posası silajında (%85,76)

daha yüksek, mısır silajında daha düşük (%65,46) bulunduğu bildirilmiştir. Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan çalışmada şeftali posası silajında (%71,43) daha düşük bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada TK oranı BÜP grubunda 77,79, KÜP grubunda 76,77 olarak bulunmuştur. TK oranında BÜP grubunda oluşan yüksek değerler istatistiksel olarak ($P=0,05$) anlamlı olduğu belirlenmiştir. LOK oranı BÜP grubunda 33,39, KÜP grubunda 30,99 olarak belirlenmiştir. LOK oranı açısından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat oluşan farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği silajında TK oranı 84,71 olarak bildirilirken, LOK oranı ise 30,13 olarak bildirilmiştir. Ülger ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada TK oranı ve LOK oranı sırasıyla mısır silajında TK oranı 65,46, LOK oranı 22,73, limon posası silajında TK oranı 85,56, LOK oranı 55,21, portakal posası silajında TK oranı 85,64, LOK oranı 55,05 ve mandalina posası silajında TK oranı 85,76, LOK oranı 51,67 olarak bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada SÇK oranı BÜP grubunda 3,46 olarak bulunurken, KÜP grubunda 3,69 olarak bulunmuştur. SÇK oranı bakımından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Canbolat ve ark. (2014) tarafından nar posası silajında yapılan çalışmada (%3,40) benzer değerler aldığı bildirilmiştir. Canbolat ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (%2,57), Boylu (2009) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (%1,97 ve %2,58) daha düşük, Özdüven ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (%6,78), Ülger ve ark. (2020) mısır silajında (%4,46), limon posası silajında (%5,65), mandalina posası silajında (%4,0) daha yüksek ve aynı çalışmada portakal posası silajında (%3,45) benzer SÇK oranı ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Çalışmada OMSD oranı BÜP grubunda %44,44 olarak bulunurken, KÜP grubunda %44,19 olarak bulunmuştur. OMSD oranı bakımından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Sargın ve Denek (2017) tarafından yapılan çalışmada yaş domates posası silajında (%58,23), Çapçı ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada domates posası silajında (%57,34), Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı turunçgil posası silajlarında (%66,6-81,12), Ülger ve ark. (2015) yaş şeker pancarı posasının farklı meyve posaları ile silaj yapıldığı çalışmada (%71,98-78,09) ve Ülger ve ark. (2018) elma posası silajında (%62,32), şeker pancarı posası silajında (%74,41), mısır silajında (%55,35) ve bal kabağı posası silajında (%60,65) daha yüksek OMSD olduğu bildirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, genel olarak literatür sonuçlarına göre düşük kalmıştır.

Çalışmada FP, BÜP grubunda 160,20 olarak bulunurken, KÜP grubunda 157,65 olarak bulunmuştur. FP bakımından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Ülger ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada yaş şeker pancarı posasında FP 55,22, yaş şeker pancarı posası ve farklı meyve posalarının karışımlarından elde edilen silajlarda FS 31,27-61,36 arasında değiştiği bildirilmiştir. Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı turunçgil posası silajlarında FP 80,50-111,78 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği silajında FP 114,56 olarak bildirilmiştir.

Üzüm posalarına ait gaz üretimi (GÜ), metan üretimi (MÜ), toplam gaz üretimi içinde metan oranı (TGÜMO) ve metabolik enerji (ME) Çizelge 3'te verilmiştir. pH, GÜ, MÜ, TGÜMO ve GÜME grupları arasında bulunan farklılıkların istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 3. Beyaz Üzüm Posası ve Kırmızı Üzüm Posasının Metabolik Enerjisi, in Vitro Gaz ve Metan Üretimi

| | BÜP | KÜP | P | F |
|--------------|------------|------------|-------|-------|
| GÜ | 32,33±3,51 | 32,00±0,00 | 0,082 | 5,319 |
| MÜ | 14,67±0,68 | 15,43±1,30 | 0,447 | 0,708 |
| TGÜMO | 45,67±4,97 | 48,20±4,06 | 0,563 | 0,396 |
| ME, MJ/kg KM | 12,98±0,06 | 12,94±0,14 | 0,268 | 1,652 |

BÜP: Beyaz Üzüm Posası, KÜP: Kırmızı Üzüm Posası, GÜ: Gaz üretimi, MÜ: Metan üretimi, TGÜMO: Toplam gaz üretimi içinde metan oranı, GÜME: Gaz üretiminin metabolik enerjisi, ME: Metabolik enerji.

BÜP ve KÜP gruplarının metabolik enerjisi, in vitro gaz ve metan üretimi Tablo 3'te verilmiştir.

Çalışmada GÜ, BÜP grubunda 32,33 olarak bulunurken, KÜP grubunda 32,00 olarak bulunmuştur. GÜ bakımından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı turunçgil posalarının silajları üzerine yapılan çalışmada GÜ 50,48-68,18 arasında bulunduğu bildirilmiştir. Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada GÜ, portakal posası silajında 77,00, mandalina posası silajında 74,67, limon posası silajında 74,00, şeker pancarı posası silajında 64,90 ve mısır silajında 63,20 olarak bulunduğu bildirilmiştir.

Çalışmada MÜ, BÜP grubunda 14,67 olarak bulunurken, KÜP grubunda 15,43 olarak bulunmuştur. MÜ bakımından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı turunçgil posalarının silajları üzerine yapılan çalışmada (4,71-7,65), Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada portakal posası silajında (11,73), limon posası silajında (12,39), şeker pancarı posası silajında (10,63) ve mısır silajında (10,43), Çiftçi ve ark. (2021) tarafından yapılan vetiver soya karışım silajında (5,87-9,22) MÜ daha düşük bildirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, metan üretiminin daha literatürde bakılan diğer çalışmalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Çalışmada TGÜMO, BÜP grubunda 45,67 olarak bulunurken, KÜP grubunda 48,20 olarak bulunmuştur. TGÜMO bakımından KÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Başar ve Atalay (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı turunçgil posalarının silajları üzerine yapılan çalışmada (8,17-11,23) ve Büyükkılıç Beyzi ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada portakal posası silajında (15,24), mandalina posası silajında (15,77), limon posası silajında (16,78), şeker pancarı posası silajında (16,37) ve mısır silajında (16,51) daha düşük bulunduğu bildirilmiştir. Çalışmada TGÜMO diğer çalışmalara göre

yüksek çıkmıştır. Çalışmada, üretilen metan gazının yüksek olması nedeniyle toplam gaz içinde metan gazının oranının da yüksek olması iki bulgunun birbiri ile uyduğunu göstermektedir.

Çalışmada ME, BÜP grubunda 12,98 olarak bulunurken, KÜP grubunda 12,94 olarak bulunmuştur. ME bakımından BÜP grubu daha yüksek çıkmıştır fakat bu farklılığın istatistiksel açıdan ($P=0,05$) önem oluşturmadığı görülmüştür. Özdüven ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (7,71), Sargın ve Denek (2017) tarafından yapılan çalışmada domates posası silajında (9,47), Özdemir ve Ülger (2022) tarafından yapılan şeftali silajı çalışmasında (8.07) ve Çiftçi ve ark. (2021) tarafından yapılan vetiver soya karışım silajında (6.89-8.74) daha düşük bulunduğu, Baumgärtel ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada üzüm posası silajında (18,7-20,8) ve Santos ve ark. (2014) tarafından yapılan üzüm posası silajı çalışmasında daha yüksek (22,95) bildirilmiştir.

4. Sonuç

BÜP ve KÜP grupları ile yapılan silajlarda pH optimum aralıkta olduğu görülmüştür. Silajlarda KM oranı diğer çalışmalara göre genel olarak yüksek bulunmuştur ve silaj lezzeti için olumsuz bir öge olarak düşünülebilir. Bunun yanı sıra ME açısından literatürdeki diğer çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Kırmızı ve beyaz üzüm posaları besin madde ve silolanabilirlik özellikleri açısından önemli farklılıklara rastlanmamıştır. Üzüm posası, yüksek su içeriğine rağmen silaj yapılarak ruminant besleme için kullanılabilir alternatif kaba yemlerden birisidir. Üzüm posası silajının hayvan yemi olarak kullanılmasının yanında çevre kirliliğini de azaltarak işletme ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Üzüm işleme tesislerinin yakınlarında bulunan hayvancılık işletmeleri posalardan silaj yaparak daha uzun süre faydalanabileceği ve yem maliyetini düşürebileceği tahmin edilmektedir. Üzüm işleme tesislerinden her yıl yüksek miktarda atık olarak ortaya çıkan üzüm posasının yem maliyetini düşürmek ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla uygun şekilde silaj yapılarak ruminant beslemede kullanılabilir olduğu öngörülmektedir. Ayrıca kırmızı ve beyaz üzüm posaları başka yem hammadde veya posalarla birlikte silaj yapılarak daha kalitesi sonuçlar elde edilebilir.

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

Abarghuei MJ., Rouzbehan Y., Alipour D. The influence of the grape pomace on the ruminal parameters of sheep. *Livestock Science* 2010; 132(1–3): 73–79.

AOAC. *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Arlington, VA, USA; 1990.

- Ayaşan T., Sucu E., Ülger I., Hızlı H., Çubukcu P., Özcan BD. Determination of in vitro rumen digestibility and potential feed value of tiger nut varieties. *South African Journal of Animal Science* 2020; 50(5): 738-744.
- Başar Y., Atalay Aİ. The use of citrus pulps as an alternative feed sources in ruminant feeding and its methane production capacities. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2020; 1449–1455. doi:10.21597/jist.725292
- Baumgärtel T., Kluth H., Epperlein K., Rodehutschord M. A note on digestibility and energy value for sheep of different grape pomace. *Small Ruminant Research* 2007; 67(2–3): 302–306. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.11.002
- Beres C., Costa GNS., Cabezudo I., Da Silva-James NK., Teles ASC., Cruz APG., Freitas SP. Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. *Waste Management* 2017; 68, 581–594. doi:10.1016/j.wasman.2017.07.017
- Blümmel M., Ørskov ER. Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting of food intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology* 1993; 40: 109-119.
- Boylu U. Üzüm posası silajlarında farklı katkı maddesi kullanımının fermentasyon gelişimi ve bazı mikrobiyolojik parametreler üzerine etkileri. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:59. Tekirdağ, Türkiye, 2009.
- Brenes A., Viveros A., Chamorro S., Arija I. Use of polyphenol-rich grape by-products in monogastric nutrition. A review. *Animal Feed Science and Technology* 2016; 211, 1–17. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.09.016
- Bulgurlu Ş., Ergül M. Yemlerin fiziksel kimyasal ve biyolojik analiz metotları. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi; 1978.
- Büyükkılıç Beyzi S., Konca Y., Özdüven ML., Okuyucu B. Çeşitli ticari karışımların ayçiçeği silajlarında kullanılabilirlik olanağı, silaj kalitesi, in-vitro sindirilebilirlik ve mikroorganizma profili üzerine etkileri. *Alinteri* 2016; 31(B): 53–58.
- Büyükkılıç Beyzi S., Ülger İ., Kaliber, M., Konca, Y. Determination of chemical, nutritional and fermentation properties of citrus pulp silages. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2018; 6(12), 1833. doi:10.24925/turjaf.v6i12.1833-1837.2229
- Büyükkılıç Beyzi S., Ülger İ., Konca Y. Chemical, fermentative, nutritive and anti-nutritive composition of common reed (*phragmites australis*) plant and silage. *Waste and Biomass Valorization*, 2022. 1-10. doi: 10.1007/s12649-022-01903-w
- Can A., Denek N., Tüfenk Ş. Yaş üzüm cibesine değişik katkı maddeleri ilavesinin silaj kalitesi ile in vitro kurumadde sindirilebilirlik düzeylerine etkisinin araştırılması. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2004; 8(2): 11–15.

- Canbolat Ö., Kalkan, H., Karaman, Ş., Filya, İ. The investigation of possibility of grape pomace as carbohydrate source in alfalfa silages. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2009; doi:10.9775/kvfd.2009.679
- Canbolat Ö., Kalkan H., Karaman Ş., Filya İ. Üzüm posasının yonca silajlarında karbonhidrat kaynağı olarak kullanılma olanakları. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2010; 16(2): 269–271.
- Çapçı T., Şayan Y., Kırkpınar F., Taluğ MA., Açıkgöz Z., Ergül M., Karaayvaz BK. Kanatlı altlığının bazı yem kaynakları ile silolanma olanakları ve yem değeri III: Domates posasının broyler altlığı ile silolanma olanakları ve yem değeri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2002; 39(1): 55–62.
- Çiftçi B., Akçura S., Doran T., Okumuş O., Turan A., Kaplan M., Kamalak A. Vitiver ve soya karışım silajının fermantasyon kalitesi, besleme özellikler ile gaz ve metan üretiminin değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 2021. doi: 10.30910/turkjans.755162.
- Fitri A., Obitsu T., Sugino T. Effect of ensiling persimmon peel and grape pomace as tannin-rich byproduct feeds on their chemical composition and in vitro rumen fermentation. *Animal Science Journal* 2021; 92(1). doi: 10.1111/asj.13524.
- Goering HK., Van Soest PJ. Forage fiber analysis. *Agriculture Handbook No.379*, Washington;1970
- Hogervorst JC., Miljić U., Puškaš V. Extraction of bioactive compounds from grape processing by-products. *Handbook of Grape Processing By-Products Elsevier*; 2017; 105–135. doi:10.1016/B978-0-12-809870-7.00005-3
- İptaş S., Avcıoğlu R. Silajda fermentasyon ürünleri ile nitelik belirleme yöntemleri arasındaki ilişkiler. *Türkiye 3. Çayır-Mera Yem Bitkileri Kongresi*, 17-19 Haziran 1997. Sayfa no: 775-781 Erzurum.
- Kılıç A. Silo Yemi (Öğretim, Öğrenim ve Uygulama Önerileri). *Bilgehan Basımevi*, İzmir; 1986.
- Kiermeier F., Renner E. Der pH- wert als kriterium der verwendbarkeit von silage für die milchvieh Fütterung. *Das Wirtschaftseiq* 1963. Futterq.
- Köksal Y. Dut posasının çayır otu ile silolanmasının silaj kalitesine ve sindirilebilirliği üzerine etkilerinin araştırılması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*. Samsun, Türkiye, 2020.
- Kung L., Shaver RD., Grant RJ., Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science* 2018; 101(5): 4020–4033. doi:10.3168/jds.2017-13909
- Kutlu HR. Tüm yönleriyle silaj yapımı ve silajla besleme. *Çukurova Üniversitesi*, Balcalı-Adana. 2002.
- Martins Flores Diego Rafael, Alves Franco Patrícia da Fonseca, Janaína Schmitt, Cléber José Tonetto, Adriano Garcia Rosado Junior, Rodrigo K. Hammerschmitt, Daniela B. Facco, Gustavo Brunetto, and José Laerte Nörnberg. Lambs fed with increasing levels of grape pomace silage:

- Effects on meat quality. *Small Ruminant Research* 2021; 195:106234. doi: 10.1016/j.smallrumres.2020.106234.
- Massaro Junior, Fernando Luiz, Valter Harry Bumbieris Junior, Elzânia Sales Pereira, Ediane Zanin, Egon Henrique Horst, Odiamari Pricila Prado Calixto, Eduardo Lucas Terra Peixoto, Sandra Galbeiro, and Ivone Yurika Mizubuti. Grape Pomace Silage on Growth Performance, Carcass, and Meat Quality Attributes of Lambs. *Scientia Agricola* 2022; 79(5). doi: 10.1590/1678-992x-2020-0343.
- Menke KH., Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 1988; 28: 7-55.
- Menke KH., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor. *Journal of Agricultural Science* 1979; 93: 217–222.
- Özdemir M., Okumuş O. Türkiye'de son beş yılda yapılan bazı silaj çalışmaları. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 2022; 4(2), 30-39.
- Özdüven ML., Coşkuntuna L., Koç F. Üzüm posası silajının fermantasyon ve yem değer özelliklerinin saptanması. *Trakya University Journal of Natural Sciences* 2005; 6(1): 45–50. <http://www.trakya.edu.tr/Enstituler/FenBilimleri/fenbilder/index.php> adresinden erişildi.
- Özkan F. Süt ineklerinin beslenmesinde yaş şeker pancarı posası, lenox ve ryegrass silajlarının, mısır silajı ile karşılaştırmalı olarak kalitelerinin belirlenmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü* , sayfa no: 25. Van, Türkiye, 2019.
- Parvin S., Wang C., Li Y., Nishino N. Effects of inoculation with lactic acid bacteria on the bacterial communities of Italian ryegrass, whole crop maize, guinea grass and rhodes grass silages. *Animal Feed Science and Technology* 2010; 160(3–4): 160–166. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.07.010
- Santos NW., Santos GT., Silva-Kazama DC., Grande PA., Pintro PM., Marchi FE., Petit HV. Production, composition and antioxidants in milk of dairy cows fed diets containing soybean oil and grape residue silage. *Livestock Science* 2014; 159, 37–45. doi:10.1016/j.livsci.2013.11.015
- Sargın HG., Denek N. Effect of adding different levels of dried molasses sugar beet pulp on the silage quality and in vitro digestibility of wet tomato pomace silage. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2017; 6(1): 84–89.
- Spanghero, M., Salem, AZM., Robinson, PH. Chemical composition, including secondary metabolites, and rumen fermentability of seeds and pulp of Californian (USA) and Italian grape pomaces. *Animal Feed Science and Technology* 2009; 152(3–4): 243–255. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.04.015
- Şengül Ö., Şengül AY., Kökten K., Çağan E., Beyzi SB. Possibilities of using dried mulberry pulp as an additive in alfalfa silage. *Medycyna Weterynaryjna* 2022; 78(06): 6669–2022. doi:10.21521/mw.6669

- Ülger İ., Kaliber M., Büyükkılıç Beyzi S., Konca Y. Yaş şeker pancarı posasının bazı meyve posaları ile silolanmasının silaj kalite özellikleri, enerji değerleri ve organik madde sindirilebilirlikleri üzerine etkisi. *Alnteri Journal of Agriculture Science* 2015; 29(2), 19–25.
- Ülger I., Kamalak A., Kurt O., Kaya E., Guven I. Comparación de la composición química y el potencial anti-metanogénico de las hojas de *Liquidambar orientalis* con hojas de *Laurus nobilis* y *Eucalyptus globulus* utilizando la técnica de producción de gas in vitro. *Ciencia e investigación agraria*, 2017; 44(1): 75-82.
- Ülger İ., Kaliber M., Ayaşan T., Küçük O. Chemical composition, organic matter digestibility and energy content of apple pomace silage and its combination with corn plant, sugar beet pulp and pumpkin pulp. *South African Journal of Animal Science* 2018; 48(3): 497. doi:10.4314/sajas.v48i3.10
- Ülger İ., Beyzi SB., Kaliber M., Konca Y. Chemical, nutritive, fermentation profile and gas production of citrus pulp silages, alone or combined with maize silage. *South African Journal of Animal Science* 2020; 50(1): 161–169. doi:10.4314/sajas.v50i1.17
- Ülger İ., Kaliber M., Beyzi SB., Konca Y. Possible ensiling of pumpkin (*cucurbita pepo*) residues. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 2020a; 44(4): 853-859.
- Ülger İ., Büyükkılıç Beyzi S., Kaliber M, Konca Y. Chemical, nutritive, fermentation profile and gas production of citrus pulp silages, alone or combined with maize silage. *South African Journal of Animal Science* 2020b; 50(1):161–69. doi: 10.4314/sajas.v50i1.17.
- Woolfort MK. The silage ferment. *Grassland Research Inst, Hurley*, p. 350, England; 1984.

DNA Barcoding and Phylogenetic Analysis of Two Species Populations of *Diplodus* from the Eastern Mediterranean Coasts of Turkey

Makbule BAYLAN^{1*}, Gamze MAZİ², Bahri Devrim ÖZCAN³, Sedat GÜNDOĞDU⁴, Dilek TEKDAL⁵

^{1,2,4}Department of Basic Science, Faculty of Fisheries, Cukurova University, 01250 Adana, Turkey

³Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Cukurova University, 01250 Adana, Turkey

⁵Department of Biotechnology, Faculty of Science and Letters, Mersin University, 33343 Adana, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-0549-0662>

²<https://orcid.org/0000-0002-3160-2480>

³<https://orcid.org/0000-0002-9198-656X>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-4415-2837>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-4545-9005>

*Corresponding author: makyan@cu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 09.11.2022

Accepted: 14.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Diplodus vulgaris

Diplodus sargus

COI gene

Polymorphism

Phylogenetics

ABSTRACT

Since Türkiye is surrounded by seas on three sides and has different climatic characteristics, it has an extremely rich biodiversity. Identifying fish species and varieties is of great importance for protecting them from drought conditions seen in recent years and using them as a source of the human food protein. The purpose of this study was to identify the genetic diversity of *Diplodus*, one of the fish species, the importance of which is underappreciated in Turkish seas. To this end, the polymorphism between the populations of two species (*Diplodus vulgaris* and *Diplodus sargus*) from the Sparidae (Coral fish) family was determined using the nucleotide sequence of the mitochondrial *cytochrome c oxidase I (COI)* gene, which is 652 base pairs long. 143 specimens of *Diplodus* were collected from the locations in the Eastern Mediterranean (İskenderun and Mersin) and Western Mediterranean (Antalya). The *COI* gene was amplified by PCR, genetic diversity analyses of these loci were carried out, and a phylogenetic tree was created to show the relationships between the isolates with a high difference. In conclusion, based on the haplotype and nucleotide diversity patterns, it was found that the *COI* gene had a low genetic variation among the populations.

Türkiye'nin Doğu Akdeniz Kıyılarında Yayılım Gösteren İki *Diplodus* Tür Popülasyonunda DNA Barkodlama Ve Filogenetik Analiz

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.11.2022

Kabul tarihi: 14.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Diplodus vulgaris

Diplodus sargus

COI geni

Polimorfizm

Filogenetik

ÖZ

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili ve farklı iklimsel özelliklere sahip olduğundan biyoçeşitlilik açısından son derece zengin bir ülke konumundadır. Deniz ekosistemi için büyük öneme sahip balık tür ve çeşitlerinin tespiti gerek son yıllarda yadsınamaz derecede hissedilen kuraklık koşulları nedeni ile bu türlerin korunması ve gerekse de insan besin proteini açısından bu türlerin kullanılması bakımından önemlidir. Sunulan bu çalışmada, balık türleri içerisinde önemi en az bilinen türlerden olan *Diplodus* türlerinin Türkiye denizlerindeki genetik çeşitliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sparidae (Mercan balıkları) familyasına ait iki türün (*Diplodus vulgaris* ve *Diplodus sargus*) popülasyonları arasındaki polimorfizm, 652 baz çiftine sahip mitokondriyal *sitokrom c oksidaz I (COI)* geninin nükleotid dizisi kullanılarak belirlenmiştir. 143 *Diplodus* örneği Doğu Akdeniz (İskenderun ve Mersin) ve

Batı Akdeniz (Antalya) lokalitelerinden toplanmıştır. Balık örneklerinden kas dokusu alınarak DNA izolasyonu yapılmıştır. PCR ile *COI* geni çoğaltılarak bu lokuslara ait genetik farklılık analizleri yapılmış ve farklılığın yüksek olduğu izolatlarda ilişkileri göstermek için filogenetik ağaç oluşturulmuştur. Sonuç olarak, *COI* geninin haplotip ve nükleotit çeşitliklerine dayalı olarak populasyonlar arasında düşük bir genetik varyasyona sahip olduğu saptanmıştır.

To Cite: Baylan M., Mazı G., Özcan BD., Gündoğdu S., Tekdal D. DNA Barcoding and Phylogenetic Analysis of Two Species Populations of *Diplodus* from the Eastern Mediterranean Coasts of Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 806-817.

1. Introduction

Diplodus, which is globally widespread, has a high economic importance for the whole world (Gordoa and Moli, 1997; Pajuelo and Lorenzo, 2004; Soykan et al., 2015). It is possible to see these species in different marine ecosystems ranging from rocky to dune habitats. There are 21 known species of this genus in the world's seas and oceans (Froese and Pauly, 2017). The main distribution areas of these 21 species are the Mediterranean and the Atlantic Ocean, but they are also distributed in the Caribbean, Gulf of Mexico, Indian Ocean, Red Sea, and Persian Gulf (Sala and Ballesteros, 1997; Summerer et al., 2001; Froese and Pauly, 2017). As well as being the main target species for small-scale, semi-industrial fishing, and sport angling, one or two members of this genus are also important for aquaculture (Reina et al., 1994; Summerer et al., 2001). The species from the genus *Diplodus* show homogeneity in terms of shape, tooth structure, and many other morphological features, except coloration (Summerer et al., 2001). All its species are carnivorous. These features make *Diplodus* a very important fish species.

With the developments in the field of molecular biology today, DNA has been the subject of many research studies on complex eukaryotic genomes. Only some of these studies were on gene functions, breeding, and degree of kinship. Molecular genetic methods are used to determine the differences or similarities between populations or individuals of a species and to solve taxonomic problems.

DNA barcoding, one of these methods, can be used as a powerful tool to examine cryptic species. Cryptic species are those that are morphologically similar but genetically different. Using morphology for species characterization and identifying all the diversity in the world is both time-consuming and challenging due to insufficient number of taxonomists (Godfray, 2002). Having an essential use in taxonomy (Ward et al., 2005; Ali et al., 2014), DNA barcoding is designed to provide precise and automated data for species. This method relies on using a small portion of mtDNA from a standard location in the genome that can be searched and matched with the sequences in the databases such as the National Center for Biotechnology Information (NCBI) GenBank and the Barcode of Life Databases (BOLD). DNA fragment with a length of approximately 655 bp from the 5' region of the mitochondrial *cytochrome c oxidase subunit I (COI)* gene has been accepted as the standard region for DNA barcoding of animal species (Hebert et al., 2003a, b). DNA barcoding is a fast, precise, and effective way of identifying species (Li et al., 2018). Any fish specimen (egg, larva, or carcass

fragment) and even morphologically impractical larval stages can be accurately identified using the COI barcode database.

In recent years, molecular methods have been used extensively in phylogenetic studies to analyze sequence differences in mtDNA (Bardeleben et al., 2005). Discussing species of aquaculture in mitochondrial DNA research will bring many benefits. Mitochondrial DNA, a widely used marker in evolutionary and phylogenetic studies, is sensitive to genetic drift and shows a great variation. mtDNA analysis identifies the differences between species and populations and provides highly reliable data in both systematic and population genetic studies. It is successfully used for these purposes in fishing (Bernatchez et al., 1992; Magoulas et al., 1996). Moreover, mitochondrial DNA can also be used to distinguish and organize the stocks of fish species (Grewe and Hebert, 1988; Billington et al., 1992).

In previous studies, 98-100% of many living species, including aquatic organisms, have been successfully identified using a small part of the *cytochrome c oxidase subunit I (COI)* gene (Aravind et al., 2007). Although some studies in Turkey in which *COI* was used in fishery products (Keskin et al., 2012; Utuk et al., 2012; Parmaksız et al., 2017), there are scarcely any studies on the species from the genus *Diplodus*.

This study was carried out to examine the genetic diversity of two fish species (*Diplodus sargus* Linnaeus, 1758 and *Diplodus vulgaris* Geoffroy Saint-Hilaire, 1817) from the Sparidae family collected from different coastal regions of the Eastern and Western Mediterranean in Turkey. DNA barcoding was performed by sequence analysis of the *COI* gene of mtDNA, and the phylogenetic relationship between two fish species collected from three coastal regions in Turkey (İskenderun, Mersin, and Antalya) was clarified.

2. Material and Methods

2.1. Collection of fish specimens

The common two-banded sea bream (*Diplodus vulgaris*) and white seabream (*Diplodus sargus*), the fish material of the research, were collected from 3 locations along the Eastern and Western Mediterranean coasts of Turkey. These locations are the Bays of Mersin, İskenderun, and Antalya. 143 fish specimens were purchased from the fishermen in these locations (73 *Diplodus vulgaris* specimens, 24 from Mersin, 24 from İskenderun, and 25 from Antalya; 70 *Diplodus sargus* specimens, 25 from Mersin, 24 from İskenderun, and 21 from Antalya).

2.2. DNA isolation and PCR

The tissue samples taken from the dorsal fin of the fish were put into 1.5 ml centrifuge tubes containing 95% ethanol and stored in the refrigerator at +4°C. GeneJET Genomic DNA (Thermo scientific) purification kit was used to isolate DNA from the fish tissues, and the protocol recommended by the company was followed.

In this study, the primer pair (FishF1-5'TCAACCAACCACAAAGACATTGGCAC3' and FishR1-5'TAGACTTCTGGGTGGCCAAAGAATCA3') of the *COI* mitochondrial marker gene with a length of 652 bp (Ward et al., 2005) was used.

The isolated DNA was prepared by measuring the amount and purity in a spectrophotometer and then used as a template in the PCR reaction. PCR was performed on an Applied Biosystems verity 96 Well Fast thermal cycler. The total reaction volume was 25 µl: 2 µl template DNA (approximately 20 ng), 12.5 µl PCR master mix (Promega), 1.0 µl (10 µmol) forward primer, 1.0 µl (10 µmol) reverse primer, 0.5 µl Taq, and 8.0 µl water (dH₂O). The PCR reaction was performed as follows: initial denaturation at 94°C for 5 minutes, denaturation at 94°C for 30 seconds, binding at 66.3°C for 30 seconds, elongation at 72°C for 2 minutes, and final elongation at 72°C for 7 minutes with 40 amplification cycles.

2.3. DNA sequence analysis

After a successful amplification, the DNA bands (~652 bp) purified from agarose gel were sent to Medsantek, Ankara, Turkey (<http://www.medsantek.com.tr/>) for Sanger sequencing, together with the primers used in the amplification.

In order to identify the genetic differences and phylogenetic relationships between the *Diplodus* species, the sequences provided by Medsantek after bidirectional reading were assembled using ChromasPro (<http://technelysium.com.au/wp/chromaspro/>) and aligned using BioEdit V.2 (<https://bioedit.software.informer.com/versions/>) (Hall, 1999).

Using MEGA7 (<https://www.megasoftware.net/>), a maximum likelihood phylogenetic tree was created for the *D. sargus* and *D. vulgaris* sequences among other *Diplodus* species taken from the NCBI GenBank database (Kumar et al., 2016).

3. Results and Discussion

3.1. PCR amplification of the mtDNA *COI* gene of the DNAs of *Diplodus vulgaris* and *Diplodus sargus*

After the *D. vulgaris* and *D. sargus* genomic DNA samples were isolated, they were used as templates, and the *COI* gene in the genome was amplified by PCR using oligonucleotide primers. The *COI* mtDNA genes of all 73 *D. vulgaris* and 70 *D. sargus* individuals obtained from the Bays of Antalya, İskenderun, and Mersin were amplified by PCR. Gel electrophoresis was performed to verify the presence of the amplified *COI* barcode gene with a length of 652 bp. Figure 1 and Figure 2 show the images of the *D. vulgaris* and *D. sargus* collected from Antalya, İskenderun, and Mersin, respectively.

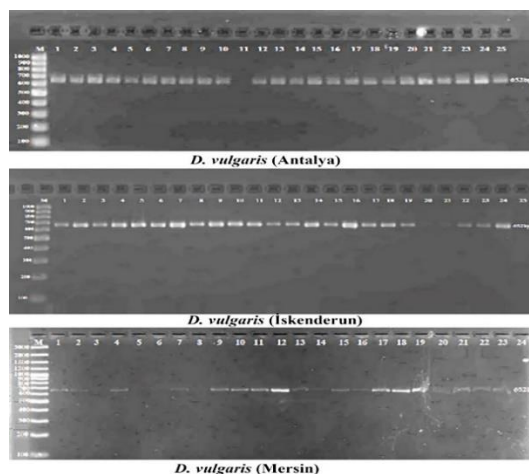


Figure 1. The images of the genomic DNAs of the *D. vulgaris* specimens collected from the Bays of Antalya, İskenderun, and Mersin in 1.5% agarose gel after the PCR analysis with COI primers (M: Marker; numbers: individual fish specimens).

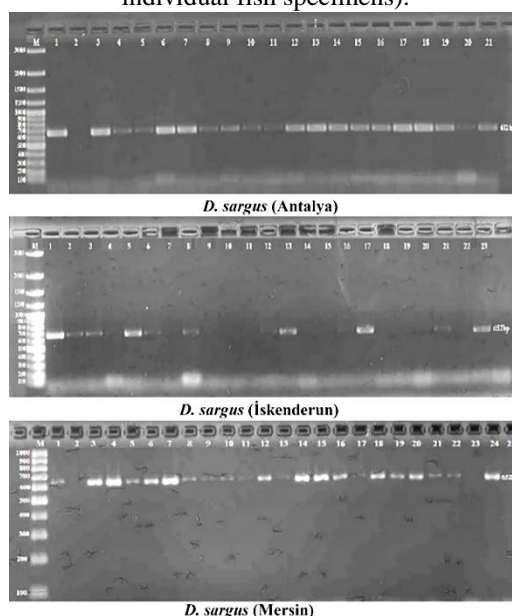


Figure 2. The images of the genomic DNAs of the *D. sargus* specimens collected from the Bays of Antalya, İskenderun, and Mersin in 1.5% agarose gel after the PCR analysis with COI primers (M: Marker; numbers: individual fish specimens).

3.2. Data analysis

The amplifications of the *D. vulgaris* and *D. sargus* specimens were sequenced by the Sanger sequencing technique. The *COI* gene sequences of 14 specimens were uploaded to the database of NCBI GenBank, Bethesda, USA, via the portal on <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>, and their accession numbers were obtained. Table 1 gives the NCBI GenBank accession numbers.

Table 1. Locations and GenBank accession numbers of the *D. sargus* and *D. vulgaris* samples.

| Genus | Location (Turkey) | Sample code | GenBank Accession No. |
|------------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|
| <i>Diplodus sargus</i> | Antalya | DSA6 | MZ556312 |
| | Antalya | DSA7 | MZ556313 |
| | İskenderun | DSI5 | MZ556313 |
| | İskenderun | DSI13 | MZ556315 |
| | İskenderun | DSI17 | MZ556316 |
| | İskenderun | DSI23 | MZ556317 |
| | Mersin | DSM3 | MZ556318 |
| | Mersin | DSM4 | MZ556319 |
| | Mersin | DSM7 | MZ556320 |
| | Mersin | DSM15 | MZ556321 |
| | Mersin | DSM24 | MZ556322 |
| | <i>Diplodus vulgaris</i> | Mersin | DVM4 |
| Mersin | | DVM19 | MZ556324 |
| Mersin | | DVM21 | MZ556325 |

Figure 3 shows the molecular phylogenetic analysis created in line with the maximum likelihood method using the sequences obtained in this study and the *COI* gene sequence data (Table 2) provided by the NCBI database for the genus *Diplodus*. This means that the *COI* gene sequences obtained by the Sanger sequencing technique were compared with those in the GenBank database.

Table 2. *COI* gene homologues provided from NCBI GenBank and used for *Diplodus* putative gene analyses and comparison of mRNA sequences.

| Genus | mRNA | Sample name | Accession No | Country |
|--|------------|---------------|--------------|-----------------------|
| <i>Diplodus vulgaris</i> | <i>COI</i> | Dvur13 | LC203502.1 | Egypt (Rashid) |
| | <i>COI</i> | Dvudm1 | LC203503.1 | Egypt (Damietta) |
| | <i>COI</i> | 291 | KC409523.1 | Greece |
| | <i>COI</i> | Dvubb7 | LC195195.1 | Egypt (Burullus) |
| | <i>COI</i> | DV6 | JX192137.1 | East Atlantic |
| | <i>COI</i> | DVUM-3ALX2015 | KU379681.1 | Egypt (Bahari) |
| | <i>COI</i> | Dvuabk3 | LC203516.1 | Egypt (Abo Qir) |
| | <i>COI</i> | Dvumm2 | LC203509.1 | Egypt (Marsa Matrouh) |
| | <i>COI</i> | DVUL7 | KJ012355.1 | Western Mediterranean |
| | <i>COI</i> | CSFOM-160 | KJ709520.1 | Portugal |
| <i>Diplodus sargus</i> | <i>COI</i> | Dsaabk6 | LC203107.1 | Egypt (Abo Qir) |
| | <i>COI</i> | Dsar9 | LC203120.1 | Egypt (Rashid) |
| | <i>COI</i> | Dsabb1 | LC203085.1 | Egypt (Burullus) |
| | <i>COI</i> | Dsamm7 | LC203130.1 | Egypt (Marsa-Matrouh) |
| | <i>COI</i> | DS1 | JX192125.1 | East Atlantic |
| | <i>COI</i> | TR611EK | KC500582.1 | Turkey |
| | <i>COI</i> | Dsabh4 | LC203100.1 | Egypt (Bahari) |
| | <i>COI</i> | BT21 | JX192292.1 | South Africa |
| Outer group-1 (<i>Diplodus annularis</i>) | <i>COI</i> | DanM1 | LC152205.1 | Egypt |
| Outer group-2 (<i>Diplodus cervinus</i>) | <i>COI</i> | EMA2014-DceM1 | KU757074.1 | Egypt |
| Outer group-2 (<i>Diplodus noct</i>) | <i>COI</i> | EMA2014-DnoR2 | KP308273.1 | Egypt |

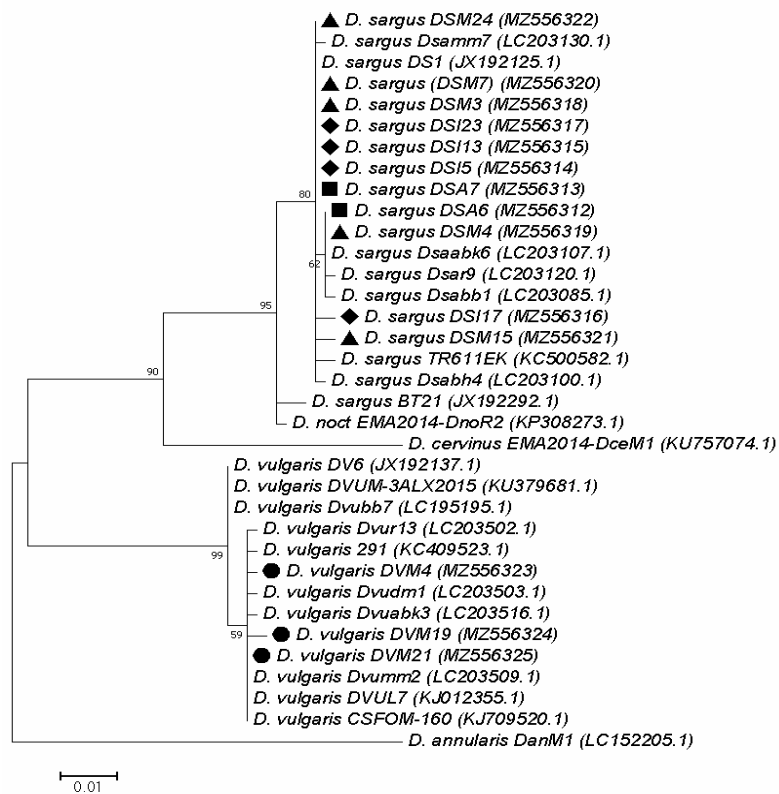


Figure 3. The molecular phylogenetic tree was created in line with Kimura's 2-parameter maximum likelihood method (Kimura, 1980) based on the partial sequences of the *COI* gene. The percentage of the replicate trees in which the associated taxa are clustered together (1000 replicates) is shown next to each branch. Triangle, square, and diamond symbols refer to the isolates. Names of the species and their accession numbers are provided as specified in NCBI GenBank.

Based on genetic differences in species whose morphological differences cannot be distinguished, molecular techniques can be used easily, especially in detecting species that are difficult to distinguish morphologically. In addition, phenotypic techniques (ecology, marking, parasites, physiology, morphometric, meristic, limestone structure) are used alone in determining the differences between species and between populations in population genetic studies. It can be misleading as it has no basis and varies according to environmental effects. Therefore, molecular genetic techniques are needed. Using nucleic or mitochondrial DNA, new information has been obtained on the genetic diversity of natural and cultural populations of various fish species (Koh et al., 1999; Sivasundar et al., 2001; Was and Wenne, 2002). The recent use of molecular tools has facilitated the identification of genetic diversity among populations with different geographical distributions. DNA barcoding is also considered a tool to determine the diversity of species within an ecosystem and investigate genetic variability within species (Rajkumar et al., 2015). Landi et al. (2014) highlight the discriminatory power of COI barcodes to identify species from different geographical origins. In addition, they emphasized that species can be identified with high sensitivity from DNA samples of different quality and origin, providing significant benefits in many areas from fishing and conservation programs to control the authenticity of fish products. Ward et al. (2005) noted that a 655-bp fragment of a single mitochondrial gene can be used to plan a phylogenetic study but is unsuitable for deep phylogenetic

resolution. In this study, 143 specimens of *D. sargus* and *D. vulgaris* distributed in the Eastern and Western Mediterranean coasts of Turkey were sequenced for the *COI* gene (652 bp). The sequences were compared with those in BOLD and GenBank databases. The sequences with differences were identified, and MEGA7 was used to find a phylogenetic relationship. As a result of the sequence comparison, the sequences of the *D. vulgaris* specimens were found to be the same, and only 3 specimens collected from Mersin were found to have a different sequence. As for the *D. sargus* specimens, a different sequence was found to exist in 2 specimens collected from Antalya, 4 specimens from İskenderun, and 5 specimens from Mersin. Therefore, only those with the difference (14 sequences) were entered into the NCBI database, and the phylogenetic relationship was looked for between these sequences. The phylogenetic tree showed that the genus *Diplodus* descended from a single ancestor; it was monophyletic. Similarly, De la Herran et al. (2001) and Abbas et al. (2017) determined the *Diplodus* species as a monophyletic group. The tree created in line with the maximum likelihood method branched into two separate groups. *Diplodus annularis* was in a separate branch. *D. sargus* and *D. vulgaris* were clustered within themselves, and *D. noct* and *D. cervinus* species were closer to *D. sargus* than *D. vulgaris*. While MZ556324 and MZ556325, the isolates of *D. vulgaris*, had a high similarity, MZ556323 was on the same branch but on a different node. Interestingly, the *D. sargus* isolates (MZ556316 and MZ556321) from 2 different locations were on the same node and had a high similarity. Similarly, MZ556312 and MZ556319, and MZ556318, MZ556320, MZ556314, MZ556315, MZ556317, and MZ556313 had a high similarity and were on the same node. Among the *D. sargus* isolates, only MZ556322 was on a more distant node than the other isolates. The high similarity of the isolates from different locations with the *COI* gene suggests that these species are resistant to different habitat conditions and may have been distributed from one region to another with the movement of water. In the phylogenetic analysis, the isolates of *D. sargus* and *D. vulgaris* were clustered within themselves in terms of species; this shows that the sequence analysis was carried out successfully, and the *COI* gene was correctly sequenced.

The first class was divided into two subgroups. One of these subgroups included the *D. sargus* (MZ556312 - MZ556322) collected from different locations in Turkey and the *D. sargus* from East Atlantic (acc. No. JX192125.1), Turkey (acc. no. KC500582.1), and Egypt (acc. no. LC203107.1, LC203120.1, LC203085.1, LC203130.1, and LC203100.1); and the other subgroup included the *D. sargus* from South Africa and the *D. noct* from Egypt (acc. no. KP308273 and JX192292, respectively). On the other hand, *D. cervinus* was in a separate subclass.

The second class was also divided into two subgroups. One of these subgroups included the *D. vulgaris* collected from Egypt (Bahari), East Atlantic, and Burullus (acc. no. KU379681.1, JX192137.1, and LC195195.1, respectively), and the other group included the *D. vulgaris* sequences from Turkey (acc. no. MZ556323, MZ556324, and MZ556325) and Western Mediterranean, Abo Qir (Egypt), Rashid (Egypt), Marsa-Matrouh (Egypt), Damietta (Egypt), Portugal, and Greece (acc. No. KJ012355.1, LC203516.1, LC203502.1, LC203509.1, LC203503.1, KJ709520, KC409523.1,

respectively). The Egyptian *D. annularis* (acc. No. LC152205) constituted the third class on a single branch.

The DNA barcoding data were in line with those reported by most of the previous studies. Likewise, Abbas et al. (2017) also showed that the results of the phylogenetic tree Sparidae species are monophyletic. The tree is divided into two separate clades and some subclades. The two main clades include all species under study except *Crenidens crenidens* in a separate branch. These two studies support our study. Keskin et al. (2013) demonstrated the genetic relationship between species in the NJ tree. Each species was associated with a specific DNA barcode cluster and demonstrated the relationship between these species. As in the results, they presented a clustering model that could inform the phylogenetic relationships between conspecific, congeneric, and confamilial levels, in which species closer to genetic diversity clustered at the same nodes.

4. Conclusion

Nutritional availability, light regime, salinity, feeding, oxygen, temperature, pollutants, nutrient concentration, predator density, current speed, and intra-specific social interactions have all been demonstrated to have an impact on growth in fishes (Acarli et al., 2018). Genetics is very important parameters to identify a species. This study was carried out to examine the genetic population structure and genetic diversity of two species, *D. sargus* and *D. vulgaris*, from the Sparidae family. The isolation and sequencing were successfully performed in the study. The identification and analysis of the species, which is one of the ultimate goals of the study, was successfully carried out. It has been determined that the *COI* gene has a low genetic variation among Sparidae populations. In conclusion, the results of the current study support previous analyzes in terms of the success of barcoding in determining the genetic population structure and genetic diversity of the two species. It is thought that determining the phylogenetic tree of the two *Diplodus* species will provide a complete vision of their evolutionary relationships and enrich the genetic database with sequences.

Acknowledgments

We would like to thank those in the Scientific Research Projects Unit, Çukurova University for their support (Project Code: FBA-2017-8236), and Prof. Bora KAYDAN for his support to the planning of this study

Statement of Conflict of Interest

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

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Abbas EM., Soliman T., El-Magd MA., Farrag MMS., Ismail RF., Kato M. Phylogeny and DNA barcoding of the family Sparidae inferred from mitochondrial DNA of the Egyptian waters phylogeny and DNA barcoding of the family Sparidae inferred from mitochondrial DNA of the Egyptian waters. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 2017; 12(2): 73-81.
- Acarli D., Kara A., Bayhan B., Çoker T. Catch composition and catch efficiency of species caught from Homa Lagoon (Izmir Bay, Aegean Sea). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2009; 26(1): 39-47.
- Ali MA., Gyulai G., Hidvégi N., Kerti B., Al Hemaïd FMA., Pandey AK. The changing epitome of species identification-DNA barcoding. *Saudi Journal of Biological Sciences* 2014; 21(3): 204-231.
- Aravind K., Ravikanth G., Shaanker RU., Chandrashekara K., Kumar ARV., Ganeshaiyah KN. DNA barcoding: An exercise in futility or utility?. *Current Science* 2007; 92(9): 1213-1216.
- Bardeleben C., Moore RL., Wayne K. A molecular phylogeny of the Canidae based on six nuclear loci. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 2005; 37(3): 815-831.
- Bernatchez L., Guyomard R., Bonhomme F. DNA sequence variation of the mitochondrial control region among geographically and morphologically remote European brown trout *Salmo trutta* populations. *Molecular Ecology* 1992; 1: 161-173.
- Billington N., Barrette R.J., Hebert PDN. Management implications of mitochondrial DNA variation in walleye stocks. *North American Journal of Fisheries Management* 1992; 12(2): 276-284.
- Charles H. Godfray J. Challenges for taxonomy. *Nature* 2002; 417(6884): 17-19.
- De la Herran R., Rejon CR., Rejon MR., Garrido-Ramos MA. The molecular phylogeny of the Sparidae (Pisces, Perciformes) based on two satellite DNA families. *Heredity* 2001; 87: 691-697.
- Froese R., Pauly D. World wide web electronic publication. Fishbase. www.fishbase.org. (Erişim tarihi: 2017).
- Gordoa A., Molí B. Age and growth of the sparids *Diplodus vulgaris*, *D. sargus* and *D. annularis* in adult populations and the differences in their juvenile growth patterns in the north-western Mediterranean Sea. *Fisheries Research* 1997; 33(1-3): 123-129.
- Grewe PM., Hebert PDN. Mitochondrial DNA diversity among broodstocks of the lake trout, *Salvelinus namaycush*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1988; 5(12): 2114-2122.
- Hall TA. BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series* 1999; 41: 95-98.
- Hebert PDN., Cywinska A., Ball SL., DeWaard J.R. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2003a; 270(1512): 313-321.

- Hebert PDN., Ratnasingham S., Waard J. Barcoding animal life: Cytochrome c oxidase subunit I divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2003b; 270(1): 96-99.
- Keskin E., Atar HH. Determination of genetic variation among blue crab (*Callinectes sapidus*) populations along Mediterranean coast of Turkey using COI sequences. *Journal of Fisheries Sciences* 2012; 6(2): 125-131.
- Keskin E., Atar HH. DNA barcoding commercially important fish species of Turkey. *Molecular Ecology Resources* 2013; 13(5): 788-797.
- Kimura M. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution* 1980; 16(2): 111-120.
- Koh TL., Khoo G., Fan LQ., Phang VPE. Genetic diversity among wild forms and cultivated varieties of *Discus (Symphysodon ssp.)* as revealed by random amplified polymorphic DNA (RAPD) fingerprinting. *Aquaculture* 1999; 173, 485-497.
- Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution* 2016; 33(7): 1870-1874.
- Landi M., Dimech M., Arculeo M., Biondo G., Martins R., Carneiro M., Carvalho GR., Brutto SL., Costa FO. DNA barcoding for species assignment: The case of Mediterranean marine fishes. *PLoS One* 2014; 9(9): 1-9.
- LiY., Zhang Z., Yang J., Lv G. Complete chloroplast genome of seven *Fritillaria* species, variable DNA markers identification and phylogenetic relationships within the genus. *PLoS One* 2018; 13(3): e0194613.
- Magoulas A., Tsimenides N., Zouros E. Mitochondrial DNA phylogeny and the reconstruction of the population history of a species: The Case of the European Anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Molecular Biology and Evolution* 1996; 13(1): 178-190.
- Pajuelo J., Lorenzo J. Basic characteristics of the population dynamic and state of exploitation of Moroccan white seabream *Diplodus sargus cadenati* (Sparidae) in the *Canarian archipelago*. *Journal of Applied Ichthyology* 2004; 20: 15-21.
- Parmaksız A., Şeker Ö., Aslan N., Oymak A. Determination of genetic diversity in *Barbus grypus* (Heckel, 1843) populations by mtDNA *COI* gene sequences living Euphrates and Tigris River. *Yunus Araştırma Bülteni* 2017; 17(1): 103-107.
- Reina J., Martinez G., Amores A., Alvarez M.C. Interspecific genetic differentiation in Western Mediterranean sparid fish. *Aquaculture* 1994; 125(1-2): 47-57.

- Rajkumar G., Bhavan PS., Udayasuriyan R., Vadivalagan C. Molecular identification of shrimp species, *Penaeus semisulcatus*, *Metapenaeus dobsoni*, *Metapenaeus brevicornis*, *Fenneropenaeus indicus*, *Parapenaeopsis stylifera* and *Solenocera crassicornis* inhabiting in the Coromandel coast (Tamil Nadu, India) using MT-COI gene. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2015; 2: 96-106.
- Sala E., Ballesteros E. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. Marine Ecology Progress Series 1997; 152: 273-283.
- Sivasundar A., Bermingham E., Orti G. Population structure and biogeography of migratory freshwater fishes (Prochilodus: Characiformes) in major South American rivers. Molecular Ecology 2001; 10, 407-417.
- Soykan O., İlkyaz AT., Metin G., Kınacı HT. Growth and reproduction of *Boops boops*, *Dentex macrophthalmus*, *Diplodus vulgaris*, and *Pagellus acarne* (Actinopterygii: Perciformes: Sparidae) from east central Aegean Sea, Turkey. Acta Ichthyologica et Piscatoria 2015; 45: 39-55.
- Summerer M., Hanel P., Sturmbauer C. Mitochondrial phylogeny and biogeographic affinities of sea breams of the genus *Diplodus* (Sparidae). Journal of Fish Biology 2001; 59(6): 1638-1652.
- Utuk AE., Pişkin FC., Balkaya İ. Molecular detection of *Anisakis pegreffii* in Horse Mackerels (*Trachurus trachurus*) sold for human consumption in Erzurum province of Turkey. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2012; 18(2): 303-307.
- Ward RD., Zemlak TS., Innes BH., Last PR., Hebert PDN. DNA barcoding Australia's fish species Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 2005; 360: 1847-1857.
- Was A., Wenne R. Genetic differentiation in hatchery and wild sea trout (*Salmo trutta*) in the Southern Baltic at microsatellite loci. Aquaculture 2002; 204, 493-506.

Crystal Structure and DNA Binding Properties of A Sulfide Bridged Dimeric Schiff Base Compound

Ayşegül KÖSE¹, Mustafa BAL^{2*}

¹Kahramanmaraş İstiklal University, Elbistan Vocational School, Department of Property Protection and Security, Firefighting Department, Kahramanmaraş.

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Material Science and Engineering, Kahramanmaraş.

¹<https://orcid.org/0000-0003-3323-8149>

²<https://orcid.org/0000-0003-2576-3947>

*Corresponding author: mustafabal46@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 27.09.2022

Accepted: 20.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Schiff Bases

DNA binding

X-ray diffraction

Drugs

ABSTRACT

In this research, a novel 4,4'-Diaminodiphenyl sulfide-based Schiff base compound [6,6'-((1E,1'E)-((thiobis (4,1-phenylene)) bis(azaneylylidene)) bis(methaneylylidene)) bis(3-(diethylamino) phenol) (A)], which is known to have good biological activity and forms the basis of anticancer drugs, was successfully synthesized. Structural characterization of the synthesized Schiff base compound was determined by FT-IR and ¹H-¹³C NMR, spectroscopies. Also, the molecular structure of the compound was determined by a single-crystal X-ray diffraction study. The DNA binding ability of the compound was measured using UV-vis spectroscopy. Using the spectral changes, the DNA binding constant of the compound was calculated as $K_b (M^{-1}) = 6.25 \times 10^5$. The K_b value found suggests the existence of an intercalative interaction.

4,4'-Diaminodifenil Sülfür Bazlı İmin Bileşiminin Spektral ve DNA Bağlama Özellikleri

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.09.2022

Kabul tarihi: 20.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Schiff bazları

DNA bağlama

X-ışını kırınımı

İlaçlar

ÖZ

Bu çalışmada, antikanser ilaçların temelini oluşturan ve iyi derecede biyolojik aktiviteye sahip olduğu bilinen, yeni bir 4,4'-Diaminodifenil sülfür bazlı Schiff bazı bileşiği [6,6'-((1E,1'E)-((thiobis (4,1-phenylene)) bis(azaneylylidene)) bis(methaneylylidene)) bis(3-(diethylamino) phenol) (A)] başarıyla sentezlenmiştir. Sentezlenen Schiff bazı bileşiminin yapısal karakterizasyonu, FT-IR ve ¹H-¹³C NMR, spektroskopileri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bileşimin moleküler yapısı, tek kristalli bir X-ışını kırınım çalışmasıyla belirlenmiştir. Bileşimin DNA bağlama yeteneği, UV-vis spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Spektral değişimlerden faydalanılarak bileşiğe ait DNA bağlama sabiti $K_b (M^{-1}) = 6.25 \times 10^5$ olarak hesaplanmıştır. Bulunan K_b değeri interkalatif bir etkisinin varlığını önermektedir.

To Cite: Köse A., Bal M. Crystal structure and DNA binding properties of a sulfide bridged dimeric Schiff base compound. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 818-831.

1. Introduction

Cancer, one of the leading causes of death globally and is first among them, is a type of disease that causes the spread of cellular disorder in the body in the region aberrant cell enlargement with the ack demand to spread. If the DNA structure of the cancerous cell is treated, cancer disappears (Jamshidvand et al. 2018). Compounds bearing Schiff bases, an azomethine group ordinarily achieved from the condensation of primary amines and activated carbonyl groups (Puchtler and Meloen, 1981),

are frequently investigated by pharmaceutical researchers for their anti-cancer effects. Schiff bases are the essential materials in coordination chemistry and medicinal chemistry (Habibi and Askari 2013; Jamshidvand et al. 2018). Schiff bases are compounds formed by bonding the aldehyde or ketone structure with the primary amine. The azomethine group carried by these structures plays a role in many medical activities, for instance, antibacterial, herbicide, anti-inflammatory, antifungal, anti-cancer, anti-diabetic and antitumor activities (Jamshidvand et al. 2018). Deoxyribonucleic acid (DNA), which examines the construction and duty of cells, is an important destination for antiviral, anti-cancer and antibiotic drugs (Li and Dong 2009; Radi et al. 2014). The interplay between their molecules and DNA is based on size, conformation, and the capabilities of molecules' functional groups. These interactions are empirically studied (UV-*vis* absorption and emission properties) and placement works (Tümer et al. 2017; Güngör et al. 2021). Hyperchromic shifts in the absorption bands indicate the change in major or minor distortions in the DNA sequence, and changes in the absorption wavelengths because of interaction between DNA and the molecule provide information about the binding status (Güngör et al. 2020).

Schiff bases are vital in producing new anti-cancer drugs in the pharmaceutical field since Schiff bases are linked with DNA based on anti-cancer drug molecules (Jamshidvand et al., 2018; Abu-Dief et al. 2021). The binding between DNA and molecule can be in three different ways (Radi et al. 2014; Jamshidvand et al. 2018); In the form of electrostatic coupling with the negative charge of the sugar-phosphate structure (Wang et al. 2005; Radi et al. 2014; Jamshidvand et al. 2018), in the form of interaction over the corrugated DNA double helix (Radi et al. 2014; Jamshidvand et al. 2018), a hydrogen bond or van der Waals interplay in the form (intercalative bonding) (Radi et al. 2014; Jamshidvand et al. 2018). Among these three different types of bonding, intercalative bonding is the strongest. The surface of the interlocutory molecule is sandwiched among them aromatically, heterocyclic DNA base couples. The molecule's skill to bind to DNA depends on the size and electron density of the aromatic rings it is expected to interact with and the strength of the hydrophobic/hydrophilic interactions (Jayamani et al. 2014; Shokohi-Pour et al. 2016; Jamshidvand et al. 2018; Abu-Dief et al. 2021).

Schiff bases, known to have good biological activities, form the basis of materials such as catalysts, intermediates in organic synthesis, dye, pigment, polymer stabilisers and corrosion inhibitors. According to the information in the literature, complex structures of Schiff bases are more bioactive than their ligands. Schiff base materials have an essential place in coordination chemistry, paving the way for biochemistry and optical materials (Kajal et al. 2013).

Schiff bases show strong affinity for transition metal ions. They are known as excellent ligands because imine groups can chelate with metal ions (Ghosh, et al., 2018; Xia, et al., 2015). Schiff bases can coordinate strongly with metals, with active imine groups and the desire to bind hetero elements in their structure (Sönmez et al., 2019; Kalantari and Asadi, 2020). Schiff base metal complexes, which form the basis of anti-cancer drugs and are known as the most suitable candidates for these drugs,

fasten with DNA through non-covalent bonding, for instance, electrostatic, intercalation and gutter bonding (Kalantari and Asadi, 2020). Non-covalent binding anticancer drugs have proven to have less side effects when compared to covalently bound anticancer drugs (Kalantari & Asadi, 2020; Kumalo, et al. 2015). The chelated complex increases the biological activity of many compounds (Chohan, et al. 2002). It is reported that Schiff bases demonstrate a considerable increase in pharmacological characteristics after interacting with metal ions (Abu-Dief and Mohamed, 2015).

The calf thymus, fish sperm and herring sperm DNA are often used as models in the DNA binding studies of binder molecules. These three DNA models are structurally similar regarding the number of base pairs and base sequences (Magdy, et al. 2021).

In this study, we synthesised a new imine compound based on 4,4'-diaminodiphenyl sulfide. The spectral and DNA binding properties of the obtained compound were studied. The structure of the compound obtained within the scope of the study was characterised by UV-*vis*, FTIR, $^1\text{H}^{13}\text{C}$ NMR and photoluminescence spectroscopy. Moreover, the DNA binding properties of the compound were determined. Additionally, the synthesised material's molecular edifice was characterised by a single-crystal X-ray diffraction study.

2. Material and Method

Chemicals employed in synthesis and analysis were obtained from company firms (Aldrich or Merck). The structure of the produced imine bond material was characterised using spectroscopic such as FTIR and $^1\text{H}^{13}\text{C}$ NMR. In the structural analysis of the compound, FTIR (ATR) measurements, Perkin Elmer Spectrum 400 Spectrophotometer, light absorption properties, Hitachi U3900h Spectrophotometer UV-*vis* spectrophotometer, determination of emission characteristics Perkin Elmer, Photoluminescence Spectrophotometer, structure determination of the molecule, ^1H and ^{13}C NMR Bruker AVANCEIII 400 Mhz NMR Spectrophotometer and melting point of the material was obtained employing the Elektrothermal LTD 9200 instrument. All material was prepared with spectrophotometric grade solvents and treated using a one cm optical path quartz cuvette.

2.1. Synthesis of Schiff Base Compound

6,6' - ((1E,1'E) - ((thiobis (4,1-phenylene)) bis (azaneylidene) bis (methanililidene)) bis (3-(diethylamino) phenol) (A) containing imine bond during the synthesis of the compound; First, 2.82 mmol of 4-(diethylamino)-2-hydroxybenzaldehyde was dissolved in methanol in a flask. Refluxing was continued until the dissolution of the substance was complete. 1.41 mmol, 4,4'-thiodianilin was included in the prepared solution, and the concoction was refluxed on a magnetic stirrer for 48 hr. The resulting mixture was kept at room condition to crystallise (Fig.1).

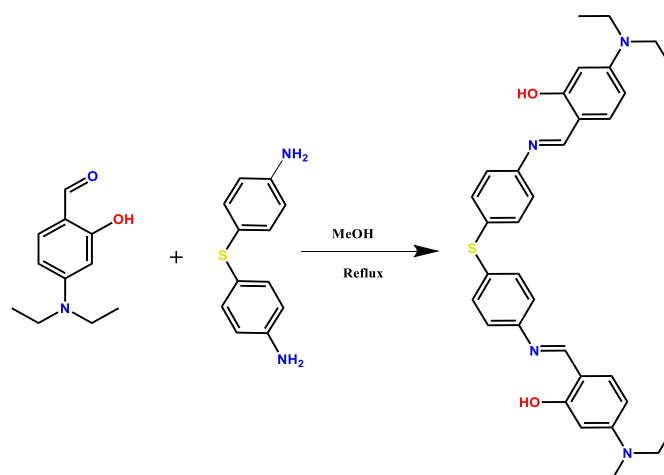


Figure 1. Compound A's synthesis reaction.

2.2. X-ray Crystal Structure solution and refinement details

A single crystal of the compound with $0.15 \times 0.08 \times 0.06 \text{ mm}^3$ dimensions was attached to a glass fibre, and crystal diffraction data were obtained on a Supernova, Single source at the offset, Eos diffractometer at ambient temperature. Using Olex2 (Dolomanov et al. 2009), the structure was solved with the SHELXT (Sheldrick 2015a) and refined with the SHELXL (Sheldrick 2015b) refinement package using Least Squares minimisation. The crystals of the compound gave weak diffraction data, yet reasonable structure solution and refinement values were obtained. X-ray crystallographic data are provided in Table 1. The *cif* file containing structural info was deposited to Cambridge crystallographic data centre with CCDC number with 2209648.

Table 1. X-ray crystallographic information and refinement details for **A**.

| | |
|--|---|
| Experimental formula | $\text{C}_{34}\text{H}_{38}\text{N}_4\text{SO}_2$ |
| Formulation weight | 566.74 |
| Temperature/K | 293(2) |
| Crystal scheme | Monoclinic |
| Space group | C2/c |
| a/Å | 13.2473(12) |
| b/Å | 5.8157(8) |
| c/Å | 38.884(3) |
| $\alpha/^\circ$ | 90 |
| $\beta/^\circ$ | 91.322(8) |
| $\gamma/^\circ$ | 90 |
| Volume/Å ³ | 2994.9(6) |
| Z | 4 |
| Radiation | MoK α ($\lambda = 0.71073$) |
| 2 θ range for data collection/ $^\circ$ | 7.526 to 57.87 |
| Index ranges | $-16 \leq h \leq 16, -7 \leq k \leq 6, -30 \leq l \leq 52$ |
| Reflections collected | 6244 |
| Independent reflections | 3369 [$R_{\text{int}} = 0.0373, R_{\text{sigma}} = 0.0888$] |
| Data/limits/parameters | 3369/103/189 |
| Goodness-of-fit on F^2 | 1.278 |
| Ultimate R indexes [$I \geq 2\sigma(I)$] | $R_1 = 0.1490, wR_2 = 0.3929$ |
| Ultimate R indexes [all data] | $R_1 = 0.2312, wR_2 = 0.4570$ |

3. Results and Discussion

Structural characterisation analysis of synthesised compound was concluded using spectroscopic approaches, for instance, $^1\text{H}^{13}\text{C}$ -NMR, FTIR and UV-*vis*. The spectroscopic results meet expectations about the compounds and confirm the structure.

6,6'-((1E,1'E)-((thiobis(4,1-phenylene))bis(azaneylylidene))bis(methaneylylidene))bis(3-(diethylamino)phenol) (A): $\text{C}_{34}\text{H}_{38}\text{N}_4\text{O}_2\text{S}$. Yield: %81, Color: Yellow-Red

3.1. Compound A's FTIR Spectrum

Looking at the FTIR spectrum of the compound "A" is checked; FTIR data (ν , cm^{-1}): 2928- 2967 (C-H) aliphatic, 1615 (C=N), 1190 (C-N), 1484-1514 (C=C), 1256 (C-O), 815,790 (C-H) aromatic. FTIR Spectrum of A structure is given in (Fig.2). The presence of the imine bond stretching at 1615 cm^{-1} as a sharp peak showed that the compound favoured the phenol-imine form in the solid state. This was further investigated by single crystal X-ray diffraction study.

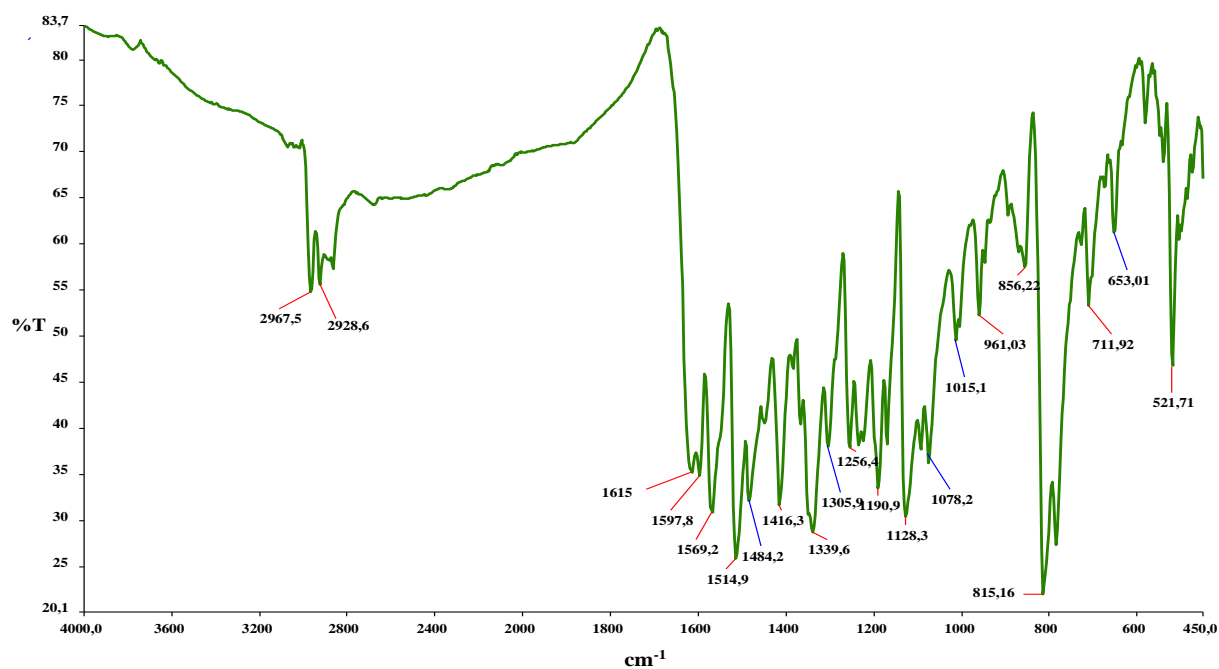


Figure 2 Compound A's FTIR spectrum.

3.2. Compound A's Crystal Structure

The crystal structure of material A was defined using the single-crystal X-ray diffraction method. The material's structure was solved in a monoclinic unit cell with $\text{C2}/c$ space group. In its crystalline structure, the two portions of the molecule are connected by a two-fold rotation axis passing through the central sulphur atom, and thus asymmetric unit contains half of the structure. The crystal structure of the material is given in (Fig.3). In the material, the imine bond length (N1-C7) is $1.294(7)\text{ \AA}$ showing a characteristic C=N double bond distance. The C9-O1 distance is $1.338(10)\text{ \AA}$, which is in the expected C-O single bond distance range. The N1-C7 and C9-O1 bond distances showed that the compound favours phenol-imine tautomeric form in the crystal. The S1-C1 bond showed a

characteristic S-C bond length (1.772(6) Å). In each half of the compound, phenyl and phenol rings are nearly co-planar by a twist angle of 4.85°. The molecular structure shows projected intramolecular phenol-imine hydrogen bonds [O1-H····N1 with D····A distance of 2.595 Å. In the structure, molecules are connected by C-H····O and π - π stacking interactions (Fig.4).

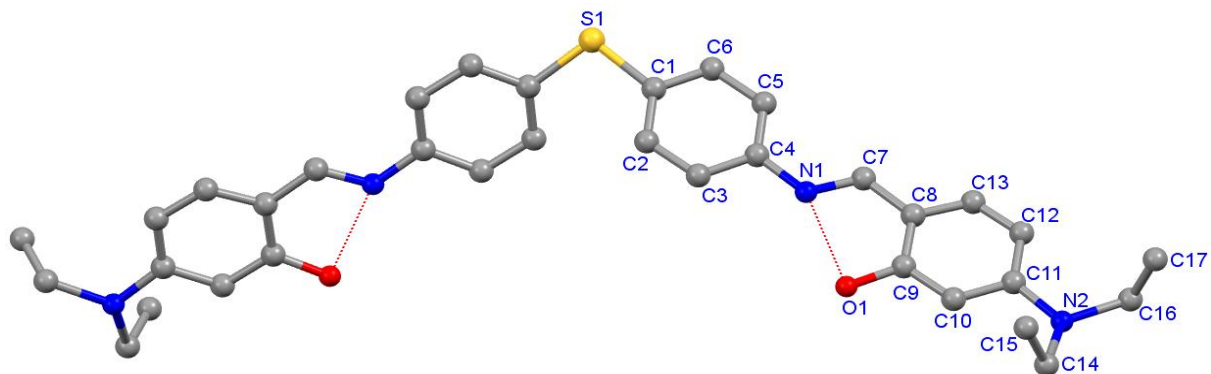


Figure 3. Compound A's Crystal structure. Symmetry-related atoms are not labelled. The phenol-imine hydrogen bond O1-H····N1 is shown as dashed lines.

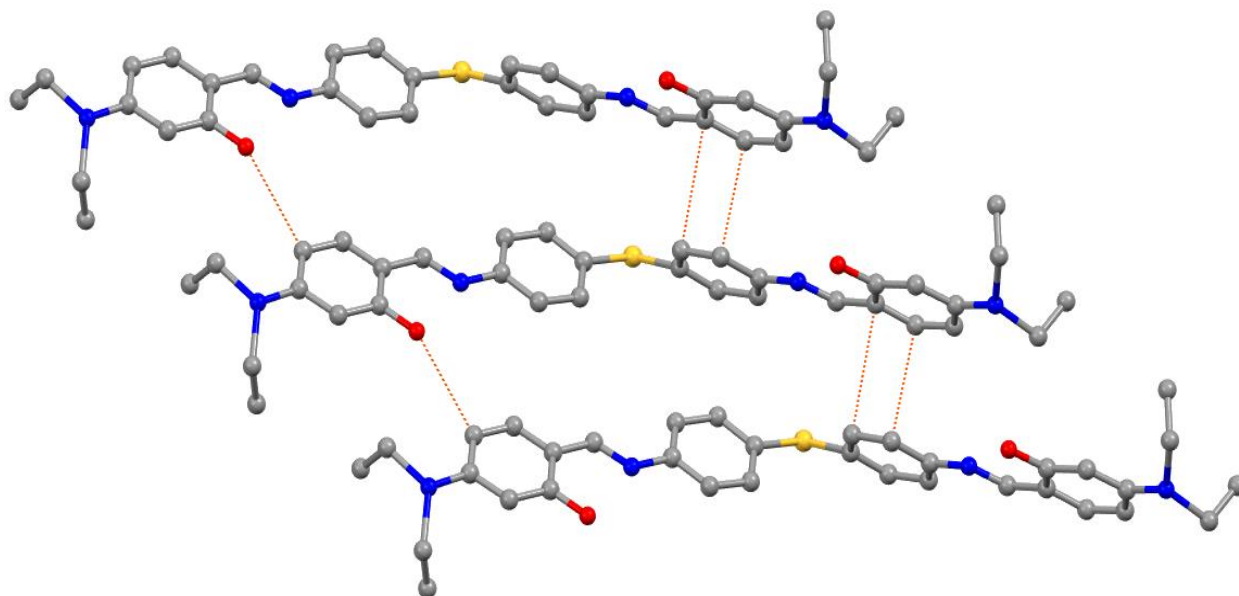


Figure 4. C-H····O and π - π contacts in compound A' structure

3.3. Compound A's UV-vis spectra

The electronic spectra of the structurally characterised compound A were investigated in CHCl_3 , EtOH, Diethylether and DMSO solution (10^{-5} M). The absorption spectra of compound A are given in (Fig.5). Compound A dissolved in DMSO gave a broad absorption band around 385 nm, indicating π - π^* transitions of cyclic structures. The diethylether solution of compound a showed a similar absorption band around 390 nm with a wider and partially redshifted tendency, increasing the absorption density compared to the DMSO solvent. The CHCl_3 and EtOH solution decreased the absorption density and showed absorption bands showing π - π^* transitions at 395 nm and 410 nm, respectively, with a redshift tendency relative to DMSO.

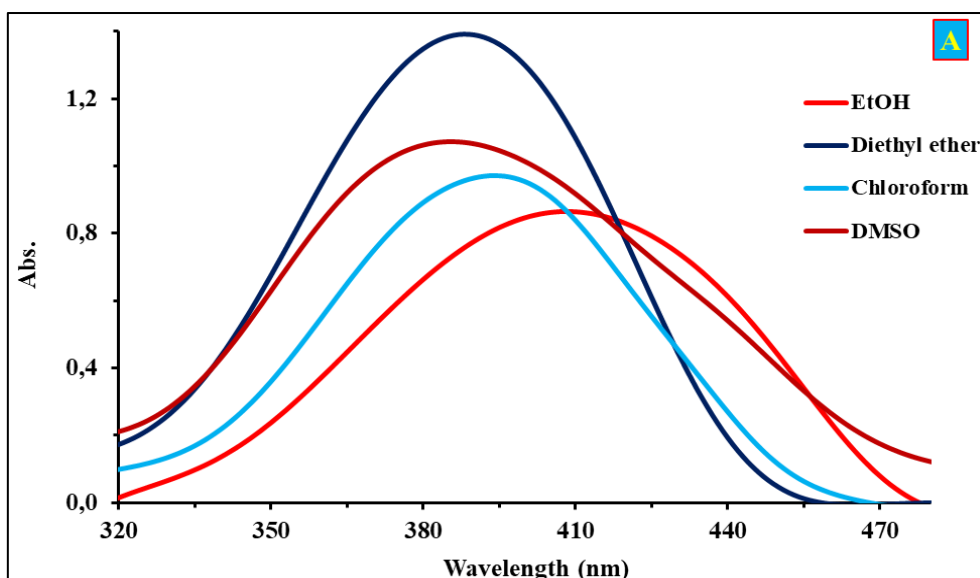


Figure 5. Compound A's UV-*vis* spectrum.

3.4. Compound A's photoluminescence spectra

Within the scope of the study, the excitation and emission values of the Schiff base compound A were measured using DMSO, EtOH, Diethylether and CHCl_3 media solutions. The graphs obtained from the solutions prepared at 10^{-5} M values are shown in (Fig.6).

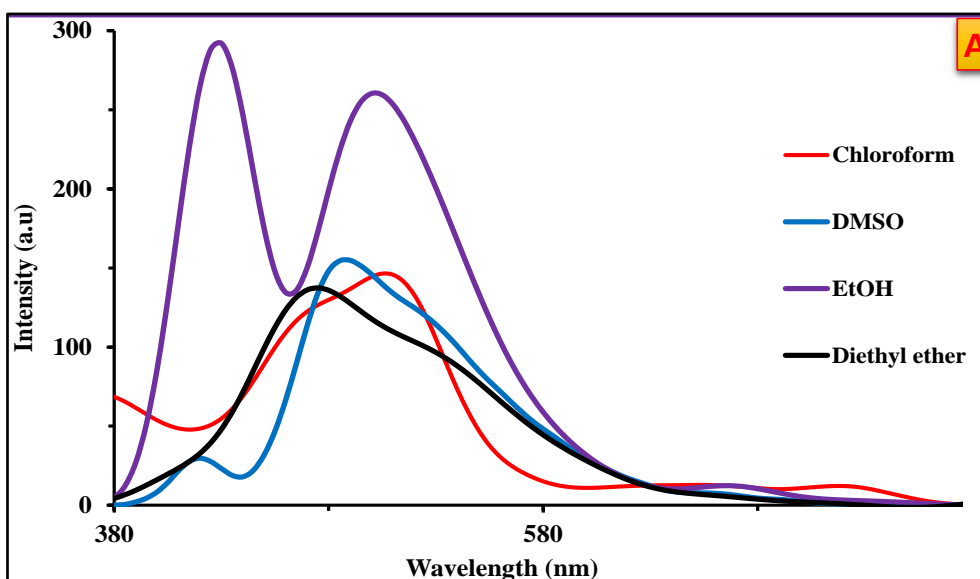


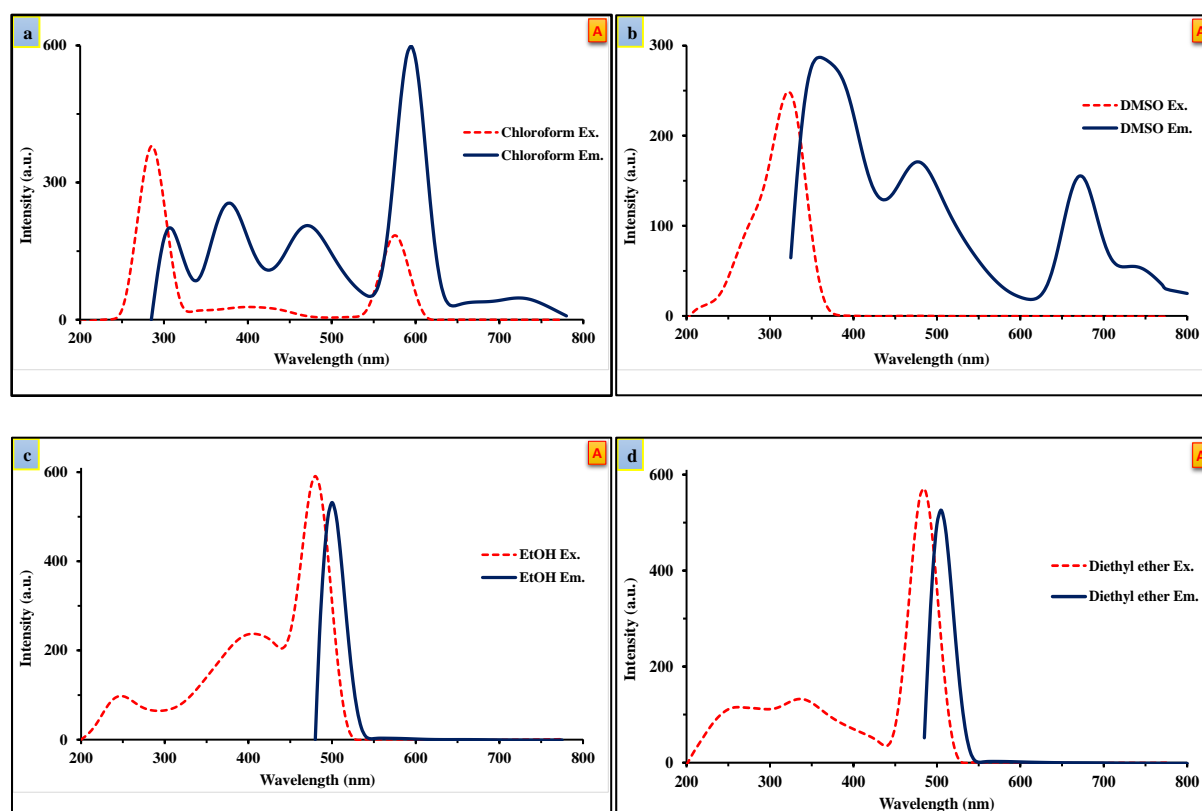
Figure 6. Compound A's photoluminescence spectra.

The Stokes shift of the CHCl_3 solution of compound A has the largest Stokes shift of 115 nm among the solvents determined. It exhibited an emission band at 510 nm with a Stokes shift of 115 nm versus 395 nm absorption of the π - π^* transition. Diethyl ether and DMSO solutions have a Stokes shift of 85 and 90 nm, respectively, and exhibit emission bands at 475 nm and 490 nm, respectively. In response to the absorption of EtOH solution at 410 nm, a Stokes shift of 15 nm and 85 nm occurred and exhibited two emission bands at 425 nm and 495 nm. Table 2 shows the Stokes shifts that occur with the wavelengths of the emission and absorption of compound A in the existence of different solvents.

Table 2. Absorption, emission and stokes shift values of compound A.

| Compound | λ_{max} , nm | | | |
|----------|-----------------------------|-----------------|---------------|--------------------|
| | Solvents | Absorption (nm) | Emission (nm) | Stokes shifts (nm) |
| A | EtOH | 410 | 425, 495 | 15, 85 |
| | CHCl ₃ | 395 | 510 | 115 |
| | Diethylether | 390 | 475 | 85 |
| | DMSO | 385 | 490 | 95 |

In addition, the Excitation and Emission graphs of the photoluminescence measurements made in MDSO, CHCl₃, EtOH and Diethylether environments are given in (Fig.7) to compare the data.

**Figure 7.** Compound A's Ex and Em graphs in a) CHCl₃ b) DMSO c) EtOH d) Diethylether

3.5. Compound A's ¹H and ¹³C NMR Spectra

In the ¹H NMR spectrum (¹H NMR (400 MHz, CDCl₃) δ 13.72, 8.43, 7.39, 7.37, 7.28, 7.22, 7.20, 7.19, 7.16, 6.29, 6.28, 6.26, 6.26, 6.21, 6.21, 3.45, 3.43, 3.42, 3.40, 1.25, 1.23, 1.21.); The signal observed in the δ 1.20-1.25 ppm range is the signal of protons belonging to the (-CH₃) group. The signal observed in the range of δ 3.40-3.45 ppm is the signal of protons belonging to the (-CH₂-N-) group. The signal observed in the range of δ 6.20-7.37 ppm is the signal of protons in the ring structures. The signal of the proton of the azomethine (-HC=N-) group is seen at δ 8.43 ppm. Signals of protons belonging to the (-O-H) group attached to the aromatic ring are seen at δ 13.72 ppm.

In the ¹³C-NMR spectrum (¹³C NMR (101 MHz, CDCl₃) δ 164.15, 160.44, 151.95, 147.98, 133.87, 132.63, 132.06, 121.67, 109.10, 103.91, 97.75, 44.63, 12.73); The signal for the "C" atoms of the end

(-CH₃) group is seen at δ 12.73 ppm. The signal of "C" atoms belonging to the (N-CH₂-) group is located at δ 44.76 ppm. The signal in the range of δ 97.75-151.95 ppm is the signal belonging to the "C" atoms in the ring structures. The signal at δ 160.44 ppm belongs to the "C" atom of the azomethine (-HC=N-) group. The signal at δ 164.15 ppm belongs to the "C" atom of the (-O-C-) group. ¹H and ¹³C NMR data of compound A are given in (Fig.8).

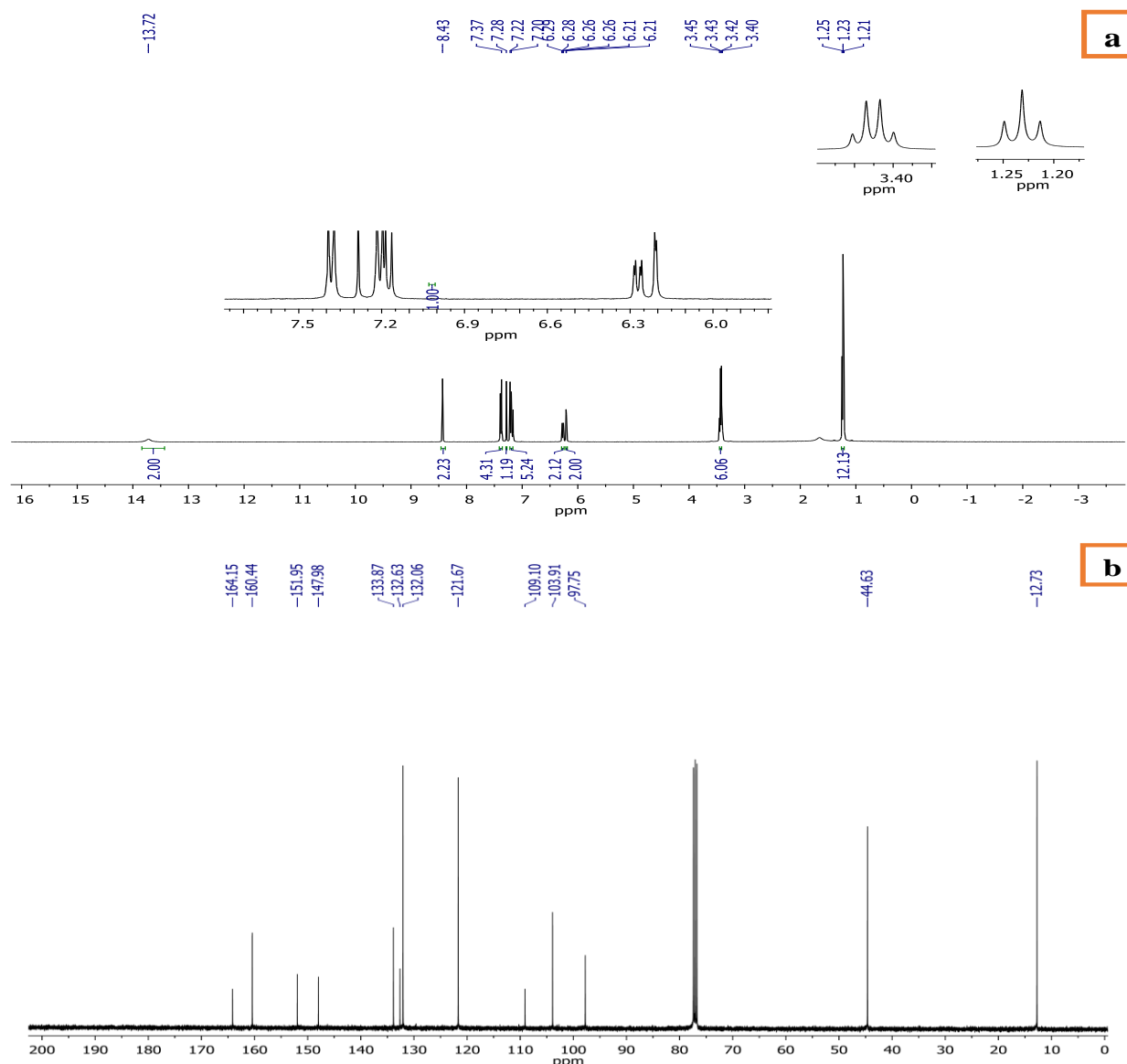


Figure 8. Compound A's a) ¹H and b) ¹³C NMR spectra

3.6. Interaction of compound A with DNA

3.6.1. DNA interaction studies

To determine the extent of interaction of the newly synthesised Schiff base compound with DNA, double-stranded FSds-DNA (Aldrich) was used without the need for purification. DNA standard solution was prepared in Tris-HCl buffer (20 mM Tris-HCl, 20 mM NaCl, pH 7.0) at room conditions. It was stored in a cold environment (4° C) for not more than seven days. The absorbance ratio at 260 nm and 280 nm wavelengths (A₂₆₀-A₂₈₀) was approximately 1.86, indicating that the DNA structure

is free from protein contamination. The ratio of Nucleotide phosphate [NP] in DNA concentration was determined by UV absorbance at 260 nm after dilution of (1/20) using the known ϵ value of 6600M (Gungor et al. 2020).

UV-*vis* spectrophotometer method is one of the most preferred methods used to investigate the interaction between Schiff base and DNA in terms of quality and quantity and to comment on the type of interaction. The stacking interaction of the aromatic groups of the molecule with DNA results in bathochromism and hypochromism in the UV spectrum. In the UV titration study, the spectra of DNA were recorded for a fixed compound in the presence of the synthesised compound (Tumer et al. 2017). As the DNA solution is added, changes occur in the compound's absorbance band of π - π^* transitions. The graphs of hyperchromism, which means an increase in the absorption density, and hypochromism, which means a decrease in the absorption intensity, according to the ratio of the added DNA solution, are generated and shown in (Fig.9). Hyperchromism that occurs with DNA solution added is defined as damage to the double helix structure due to electrostatic binding of the DNA helix structure or partial dissolution (Vijayalakshmi et al. 2000; Anjomshoa et al. 2014; f et al. 2021).

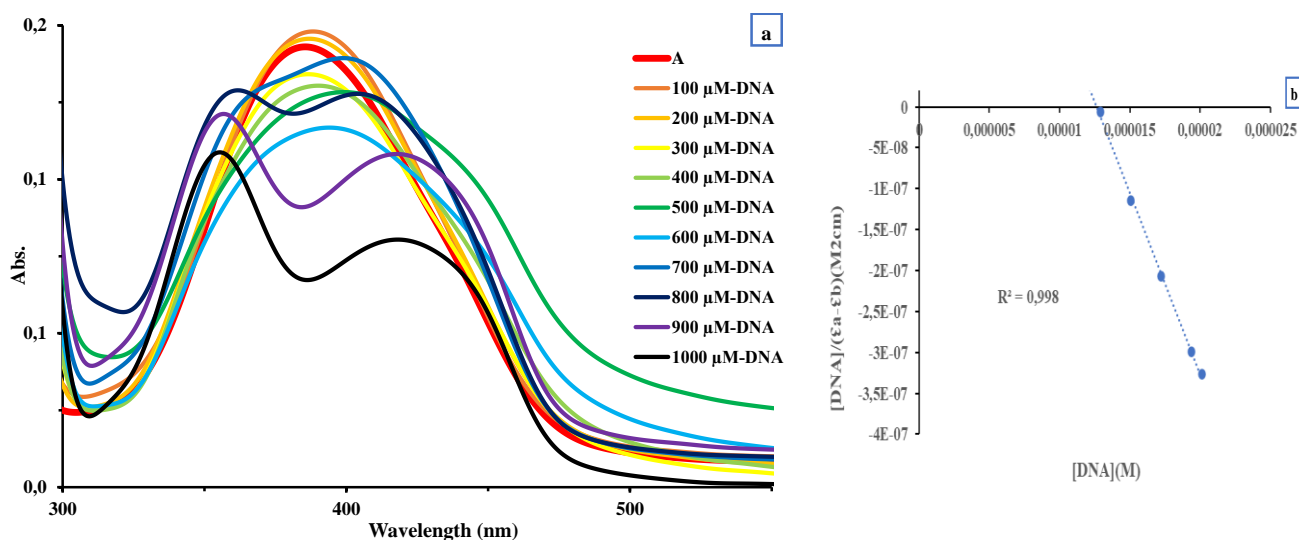


Figure 9 a) UV-*vis* spectrum of the interaction of compound A with DNA at certain ratios **b)** The proportional change between [DNA] and [DNA/ $\epsilon a - \epsilon f$] caused by changes in the amounts of FSdsDNA, $n = 10$.

The interaction of compound A with DNA at certain rates was monitored and recorded. The wide absorbance band of compound A at 385 nm caused an increase in absorbance intensity by showing a partial redshift with the addition of 100 and 200 μ M DNA. When DNA amounts in the range of 300-700 μ M were added, the absorbance density of compound A decreased at 385 nm and exhibited an absorbance band in the wavelength range of 390-400 nm, showing a redshift tendency. When 800, 900 and 1000 μ M DNA amounts were added to Compound A, the absorbance band seen at 385 nm tended to be red and blue shifted with decreasing absorbance density and bifurcation.

The resulting two-peaked new bands were observed at (blueshift) 360,355,355 nm and (redshift) 405, 420, 420 nm, respectively.

The intrinsic binding constant of compound A to FSdsDNA, K_b , was obtained using Equation 1 from data resulting from the shift of absorbance values to different wavelengths with the increase in FSdsDNA concentration (Psomas 2008; Tumer et al. 2017):

$$[DNA] / (\epsilon_a - \epsilon_f) = [DNA] / (\epsilon_b - \epsilon_f) + 1/K_b(\epsilon_a - \epsilon_f) \dots\dots\dots(1)$$

$\epsilon_a = A_{obs}/[Complex]$.

ϵ_a = Free complex extinction coefficient.

ϵ_b = The extinction coefficient of the fully bound compound

In the graph obtained from $[DNA]/(\epsilon_b - \epsilon_f)$ and $[DNA]$ data, K_b is demonstrated as the ratio of the slope to the y-intercept (Fig.7b). For compound A, K_b (M^{-1}) = 6.25×10^5 was found. The K_b value found showed that the compound exhibited more robust binding connections than ethidium bromide (EB). The fact that the K_b value of the compound is higher than the EB binding affinity for DNA ($K_b = 1.23 \pm 0.07 \times 10^5$) indicates that intercalative interplay may affect EB relocation (Zipper et al. 2004)

4. Conclusion

In this study, compound A containing imine bond (-C=N-) was successfully synthesised following the literature. The material of the synthesised compound was elucidated by FTIR, UV-*vis*, Photoluminescence spectroscopy, $^1H^{13}C$ -NMR. According to the FTIR results, the peak belonging to the (-C=N-) group of the compound was observed at 1615 cm^{-1} . In addition, a single-crystal X-ray diffraction study determined the molecular structure of the synthesised compound. The absorbance band of the π - π transitions seen at 285 nm wavelength in the UV-*vis* spectrum of the compound showed a blue and red shift tendency when interacting with the DNA solution. In addition, changes in hypochromism and bathochromism were also observed. Therefore, it is crucial to determine the interaction rate and type of Schiff bases with DNA, which are the basis of anti-cancer drugs. For this reason, UV-*vis* spectroscopy was used to monitor and record the interaction of the new Schiff base we synthesised with DNA in our study. Finally, a new type of Schiff bases, which is considered necessary in many fields such as coordination chemistry, biochemistry, dyes, plastics industry, pharmaceutical chemistry, electronics industry, and pesticides in agriculture, was synthesised within the scope of the study, its structure was clarified, and studies were carried out on its effect on DNA structure.

Conflict of Interest Statement

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

Contribution Rate Statement Summary of Researchers

The author declares that each author contributed equally to the article.

References

- Abu-Dief AM., El-khatib RM., Aljohani FS, et al. Synthesis and intensive characterisation for novel Zn(II), Pd(II), Cr(III) and VO(II)-Schiff base complexes; DNA-interaction, DFT, drug-likeness and molecular docking studies. *J Mol Struct.* 2021;1242:130693.
- Abu-Dief AM., Mohamed IMA. A review on versatile applications of transition metal complexes incorporating Schiff bases. *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci.* 2015; 4(2): 119-133.
- Anjomshoa M., Fatemi SJ., Torkzadeh-Mahani M., Hadadzadeh H. DNA- and BSA-binding studies and anti-cancer activity against human breast cancer cells (MCF-7) of the zinc(II) complex coordinated by 5,6-diphenyl-3-(2-pyridyl)-1,2,4-triazine. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc.* 2014;127: 511-520.
- Chohan, Z. H., Pervez, H., Rauf, A., Scozzafava, A., & Supuran, C. T. Antibacterial Co (II), Cu (II), Ni (II) and Zn (II) complexes of thiadiazole derived furanyl, thiophenyl and pyrrolyl Schiff bases. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry.* 2002: 17(2), 117-122.
- Dolomanov OV., Bourhis LJ., Gildea RJ., Howard JAK., Puschmann H. OLEX2: A complete structure solution, refinement and analysis program. *J Appl Crystallogr.* 2009;42(2): 339-341.
- Ghosh, S., Roy, N., Singh, T. S., & Chattopadhyay, N. Photophysics of a coumarin based Schiff base in solvents of varying polarities. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2018: 188, 252-257.
- Güngör Ö., Koçer F., Köse M. Cu(II) complexes of biguanidine ligands: Structural characterisation, DNA binding and antimicrobial properties. *J Mol Struct.* 2020;1204: 127533.
- Güngör SA., Tümer M., Köse M., Erkan S. N-substituted benzenesulfonamide compounds: DNA binding properties and molecular docking studies. *J Biomol Struct Dyn.* 2021;40(16): 7424-7438.
- Habibi MH., Askari E. Synthesis, structural characterisation, thermal, and electrochemical investigations of a square pyramidal manganese (III) complex with a Schiff base ligand acting as N₂O₂ tetradentate in equatorial and as O monodentate in axial positions: Application as a pr. *Synth React Inorganic, Met Nano-Metal Chem.* 2013; 43(4): 406-411.
- Jamshidvand A., Sahihi M., Mirkhani V, et al. Studies on DNA binding properties of new Schiff base ligands using spectroscopic, electrochemical and computational methods: Influence of substitutions on DNA-binding. *J Mol Liq.* 2018; 253: 61-71.
- Jayamani A., Sengottuvelan N., Chakkaravarthi G. Synthesis, structural, electrochemical, DNA interaction, antimicrobial and molecular docking studies on dimeric copper (II) complexes involving some potential bidentate ligands. *Polyhedron.* 2014; 81: 764-776.
- Kajal A., Bala S., Kamboj S., Sharma N., Saini V. Schiff Bases: A Versatile Pharmacophore. *J Catal.* 2013; 2013(Mic): 1-14.

- Kalantari R., Asadi Z. DNA/BSA binding of a new oxovanadium (IV) complex of glycyglycine derivative Schiff base ligand. *J Mol Struct.* 2020; 1219: 128664.
- Kumalo, H. M., Bhakat, S., & Soliman, M. E. Theory and applications of covalent docking in drug discovery: merits and pitfalls. *Molecules.* 2015; 20(2), 1984-2000.
- Li JF., Dong C. Study on the interaction of morphine chloride with deoxyribonucleic acid by fluorescence method. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc.* 2009; 71(5): 1938-1943.
- Magdy, G., Belal, F., Hakiem, A. F. A., & Abdel-Megied, A. M. Salmon sperm DNA binding study to cabozantinib, a tyrosine kinase inhibitor: Multi-spectroscopic and molecular docking approaches. *International Journal of Biological Macromolecules*:2021. 182, 1852-1862.
- Psomas G. Mononuclear metal complexes with ciprofloxacin: Synthesis, characterisation and DNA-binding properties. *J Inorg Biochem.* 2008; 102(9): 1798-1811.
- Puchtler H., Meloan SN. On Schiff's bases and aldehyde-fuchsin: A review from H. Schiff to R.D. Lillie. *Histochemistry.* 1981; 72(3): 321-332.
- Radi AE., El-Naggar AE., Nassef HM. Electrochemical and Spectral studies on the Interaction of the Antiparasitic Drug Nitazoxanide with DNA. *Electrochim Acta.* 2014; 129: 259-265.
- Sheldrick GM. Crystal structure refinement with SHELXL. *Acta Crystallogr Sect C Struct Chem.* 2015; 71(Md): 3-8.
- Sheldrick GM. SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination. *Acta Crystallogr Sect A Found Adv.* 2015; 71(1): 3-8.
- Shokohi-Pour Z., Chiniforoshan H., Momtazi-Borojeni AA., Notash B. A novel Schiff base derived from the gabapentin drug and copper (II) complex: Synthesis, characterisation, interaction with DNA/protein and cytotoxic activity. *J Photochem Photobiol B Biol.* 2016; 162: 34-44.
- Sönmez F., Güneşli Z., Kurt BZ., Gazioğlu I., Avcı D., Küçükislamoğlu M. Synthesis, antioxidant activity and SAR study of novel spiro-isatin-based Schiff bases. *Mol Divers.* 2019; 23(4): 829-844.
- Tümer F., Golcü A., Tümer M., Bulut S., Köse M. Multifunctional metallo porphyrin-imine conjugates: Photophysical, electrochemical, DNA binding and SOD enzyme mimetic studies. *J Photochem Photobiol A Chem.* 2017; 346: 236-248.
- Wang L., Bian G., Wang L., Dong L., Chen H., Xia T. Fluorescence determination of DNA with 1-pyrenebutyric acid nanoparticles coated with β -cyclodextrin as a fluorescence probe. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc.* 2005; 61(6): 1201-1205.
- Xia, L., Xia, Y. F., Huang, L. R., Xiao, X., Lou, H. Y., Liu, T. J., & Luo, H. Benzaldehyde Schiff bases regulation to the metabolism, hemolysis, and virulence genes expression in vitro and their structure–microbicidal activity relationship. *European journal of medicinal chemistry,* 2015: 97, 83-93.
- Vijayalakshmi R., Kanthimathi M., Subramanian V., Nair BU. Interaction of DNA with [Cr(Schiff base)(H₂O)₂]ClO₄. *Science (80-).* 2000; 1475: 157-162.

Zipper H., Brunner H., Bernhagen J., Vitzthum F. Investigations on DNA intercalation and surface binding by SYBR Green I, its structure determination and methodological implications. *Nucleic Acids Res.* 2004; 32(12).

Afyonkarahisar’da Tüketime Sunulan Piliç Etlerinde *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter lari* Varlığının Real-Time PCR ile Araştırılması

Fidan Didem ARPACI¹, Recep KARA^{2*}

¹ Başkent Üniversitesi Deneysel Hayvanları Üretim ve Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi AD, Afyonkarahisar, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-9257-7506>

²<https://orcid.org/0000-0002-0823-8051>

*Sorumlu yazar: recepkala@aku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.05.2022

Kabul tarihi: 14.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Campylobacter jejuni

C. coli

C. lari

Piliç Eti

Real-Time PCR

ÖZ

Dünya’da gıda kaynaklı bakteriyel hastalıklar arasında en yaygını olarak rapor edilen *Campylobacter* spp. kanatlı barsak florasında yüksek düzeyde bulunmaktadır. Ayrıca, sığır ve koyun gibi çiftlik hayvanlarının barsak florası da *Campylobacter* spp. için uygun ortam oluşturmaktadır. Yapılan bu çalışmada Kasım 2020 – Şubat 2021 tarihleri arasında Afyonkarahisar il merkezinde satışa sunulan piliç etlerinde (but, göğüs ve kanat) *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter lari* suşları Real-Time PCR yöntemi ile araştırılmıştır. Bu amaçla 30 adet piliç kanat, 27 adet piliç but eti, 24 adet piliç göğüs eti örneği olmak üzere toplam 81 numune analize alınmıştır. Yapılan çalışmada örneklerin %18,52 (15/81)’sinin *Campylobacter* spp ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. *C. jejuni*, kanat etlerinde %13,33 (4/30), but etlerinde %7,41 (2/27) oranında saptanmış olup, göğüs etlerinde tespit edilmemiştir. *C. coli* kanat etlerinde %3,33 (1/30), but etlerinde %25,93 (7/27), göğüs etlerinde %4,17 (1/24) seviyesinde tespit edilmiştir. *C. lari*, tüm piliç parça etlerinde (kanat, göğüs ve but) tespit edilmemiştir. Halk sağlığını tehdit eden önemli zoonozlar arasında yer alan *Campylobacter* spp. enfeksiyonları tüm dünyada yaygın olarak görülmektedir. Özellikle *C. jejuni*’nin kanatlı hayvanlarının barsak florasının normal üyesi olması sebebiyle mezbahalarda kesim sırasında hijyen kurallarına ve çapraz kontaminasyona dikkat edilmesi önerilmektedir.

Investigation of *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* and *Campylobacter lari* in Chicken Meat for Consumption with Real-Time PCR in Afyonkaraisar

Research Article

Article History:

Received: 16.05.2022

Accepted: 14.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Campylobacter jejuni

C. coli

C. lari

Chicken meat

Real-Time PCR

ABSTRACT

In today's World, the most commonly reported bacterial food diseases are caused by *Campylobacter* spp. According to researches, *Campylobacter* spp. can be found in broilers intestinal flora, also farm animals like sheep and cows intestinal flora provides suitable habitat for *Campylobacter* spp. In this study, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* and *Campylobacter lari* were searched in broiler meat (chicken breast, wing and legs) which were sold between November 2020 – February 2021 by using Real-Time PCR methodology. For this purpose, 30 chicken wings, 27 chicken legs, and 24 chicken breast, a total of 81 samples were analyzed. This research, it is determined that 18 % (15/81) of samples are contaminated by *Campylobacter* spp. *C. jejuni* was found in 13.33 % (4/30) of chicken wings, and 7.41 % (2/27) of chicken legs but it was not found in any chicken breast samples. *C. coli* was found in 3.33 % (1/30) of chicken wings, 25.93 % (7/27) of chicken legs and 4.17 % (1/24) of chicken breasts. *C. lari* was not

found in any of samples. *Campylobacter* spp infections, which are considered as zoonosis that threatens public health, are widespread in the world. Especially, due to the fact that *C. jejuni* is a regular member of the intestinal flora of poultry, hygiene rules during slaughter, especially in slaughterhouses; it is recommended to pay attention to cross-contamination.

To Cite: Arpacı FD., Kara R. Afyonkarahisar'da Tüketime Sunulan Piliç Etlerinde *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter lari* Varlığının Real-Time PCR ile Araştırılması.. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 832-841.

Giriş

Campylobacter spp. gram negatif, hareketli, çubuk şeklinde, spor oluşturmeyen küçük ve sarmal şekilli bir bakteridir (Ray ve Bhunia, 2016). Dünya'da gıda kaynaklı bakteriyel hastalık etmenleri arasında en yaygın olarak *Campylobacter* spp. rapor edilmektedir. Yapılan çalışmalarda *Campylobacter* spp. kanatlı barsak florasında yüksek düzeyde bulunmasının yanında, sığır ve koyun gibi çiftlik hayvanlarının barsak florasında da bulunabilmektedir (Hızlısoy ve ark., 2020). Batı Avrupa'daki insanların %1'inin *Campylobacter* enfeksiyonuna maruz kaldığı WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından tahmin edilmektedir. Türkiye'de ise *Campylobacter* enfeksiyonuna bağlı gastroenterit oranı %1-13 arasında olarak bildirilmiştir (Öngen 2006; Humprey, 2007; Çokal, 2015). Avrupa Gıda Güvenliği Konseyi (EFSA) tarafından 2015 yılında yapılan araştırmada, *Campylobacter* enfeksiyonunun geçen yıllara göre durağan duruma geçmesine rağmen hala AB'de de en yaygın rapor edilen gıda kaynaklı hastalık olmuştur. 2013 yılındaki vaka sayıları 2012 yılındaki vaka sayılarının seviyesinde kalmıştır. Bununla birlikte *Campylobacter* enfeksiyonu 214.779 vaka ile AB'de çoğunlukla tavuk etinden bulaşan gıda kaynaklı enfeksiyondur (EFSA, 2015). *Campylobacteriosis*; kanatlıların konakçı olduğu, termofilik *Campylobacter* spp. tarafından oluşturulan, insanlarda bakteriyel gastroenterite sebep olan zoonotik bir enfeksiyondur (Büyükcinal, 2017). *C. jejuni* enfeksiyonu, *Salmonella*, *Shigella* ve *E.coli* enfeksiyonlarından daha yaygın olarak bakteriyel gastroenterit'e neden olmaktadır (Özgür, 2020). Kesimhane sürecinde hijyen kurallarına yeterince uyulmamasına bağlı olarak, kanatlı hayvanların bağırsak içeriğinde doğal olarak bulunan *Campylobacter* spp. ile etler kontamine olabilmektedir. *Campylobacter* spp. ile kontamine olmuş etler insanlar tarafından az pişirilmiş olarak tüketildiği zaman, insanlarda gastroenteritlerin yanında endokardit, peritonit, kolit ve Guillain-Barre ve Reiter sendromuna sebep olabilmektedirler (Büyükcinal, 2017). *Campylobacter* türlerini tanımlamada yüksek duyarlılığa sahip ve 24 saatten daha kısa sürede tür düzeyinde tanımlayan moleküler testler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeple daha az zaman alıcı olması nedeniyle, en çok real-time PCR ve Multipleks PCR kullanılmaktadır (Borucu, 2017).

Yapılan farklı bölgelerdeki çalışmalarda kanatlı etlerinde (Uçar ve ark., 2007; Çokal 2015; Kestir ve Özpınar, 2018), *Campylobacter* spp. tespit edildiği bildirilmektedir. Yapılan bu çalışma ile Afyonkarahisar ilinde tüketime sunulan daha fazla tercih edilen parça etlerde *Campylobacter* spp. yaygınlığının durumunu hızlı ve güvenilir olan Real Time PCR tekniği ile ortaya koymak amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Yapılan bu çalışmada Kasım 2020 – Şubat 2021 tarihleri arasında Afyonkarahisar il merkezinde market, şarküteri ve kasaplarda satışa sunulan orijinal ambalajında paketlenmiş piliç parça etlerinde (but, göğüs ve kanat) *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* ve *Campylobacter lari* varlığı Real Time PCR yöntemi ile araştırılmıştır. Bu amaçla belirtilen tarihler arasında 30 adet piliç kanat, 27 adet piliç but, 24 adet piliç göğüs eti örneği olmak üzere toplam 81 numune toplanarak soğuk zincir altında laboratuvara getirilmiş ve analize alınmıştır.

Numunelerin Ön Zenginleştirme İşlemi

Alınan numuneler soğuk zincir altında laboratuvara getirilmiş ve analize alınmıştır. Piliç eti örneklerinden 25 g steril stomacher torbalarına alınarak üzerine 225 ml Bolton Broth Selective Supplement (Oxoid SR0183E) katkılı Bolton Broth (Oxoid CM0983; kan ilavesi olmayan) ilave edilmiştir. Daha sonra örnekler 30 saniye ile 1 dakika arasında bir homojenizatör aracılığı ile homojenize edilmiştir. İnkübasyondan önce, zenginleştirme torbalarının üst kısımlarını aşağı yuvarlayarak havası alınmıştır. Daha sonra 41,5±1°C de 24-48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra bir miktar numune bir tüpe aktarılmıştır.

DNA Ekstraksiyonu

Bu amaçla “SureTech™ *C. jejuni*, *C. coli*, *C. lari* PCR Assay” (ThermoScientific, Firlandia) Real Time PCR test kiti kullanılmıştır. Kit içerisindeki Lizis Reaktifi-1 tüpleri oda sıcaklığına dengelenmiştir. Her Lizis Reaktifi 1 tüpünden plastik kapağı çıkarılarak, tüpe 10 µL Proteinaz K eklenmiştir. Daha sonra zenginleştirilmiş numunelerden 10’ar µL’ Lizis Tüpüne aktarılmıştır. Negatif ekstraksiyon kontrolleri için, 10 µL steril zenginleştirme sıvısı; Pozitif kontrol numunesinin üretilmiş zenginleştirme sıvısı da bir Lizis tüpüne aktarılmıştır. Hazırlanan numuneler Tablo 1’de verilen program kullanarak™ Termal Döngüleyicide (SimpliAmp™ Thermal Cycler) inkübe edilmiştir.

Tablo 1. Lysis için termal döngüleyici çalışma programı

| Basamak | Sıcaklık | Süre |
|---------|----------|-------|
| 1 | 37°C | 10 dk |
| 2 | 95°C | 5 dk |
| 3 | 10°C | 2 dk |
| 4 | 4°C | |

Real Time PCR Reaksiyon İşlemleri

SureTech™ *Campylobacter jejuni*, *C. coli*, *C. lari* PCR Assay Kit içeriğinde bulunan PCR tüpleri dolaptan çıkartılarak oda sıcaklığına (23±5°C) getirilmiştir. PCR tüplerinde bulunan pelletleri rehidre etmek için 20 µL lizat (pozitif ve negatif numuneler de dahil) PCR tüpüne aktarılmıştır. PCR tüplerindeki pelletin tamamen karışması için PCR tüpleri 10–15 saniye karıştırılmıştır. Bu aşamadan

sonra tüpler QuantStudio™ 5 Instrument and RapidFinder™ cihaza yerleştirilmiş ve çalışmayı başlatmak için RapidFinder™ Analysis Software v1.1 yazılım direktifleri takip edilmiştir. Programdan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek pozitif ve negatif numuneler tespit edilmiştir.

Pozitif Tespit Edilen Örneklerin Doğrulanması

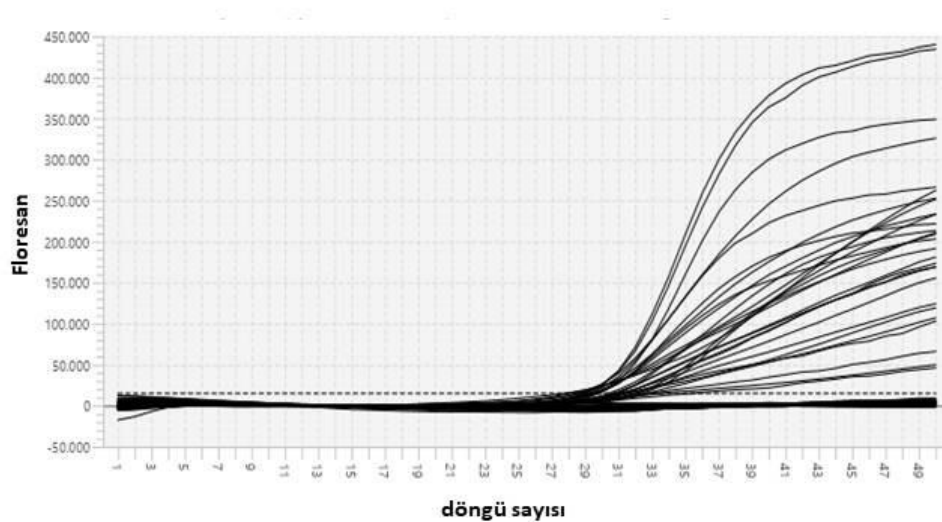
Analiz sonucunda pozitif tespit edilen numunelere ait ön zenginleştirme sıvısından 10 µL alınarak içerisine CCDA Selective Supplement (Oxoid SR0155E) ilave edilmiş Campylobacter Blood-Free Selective Agar Base (Modified mCCD-Preston, Oxoid CM0739) üzerine sürme yöntemi ile ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petripler mikroaerofilik (Campyjen CN0025A, 2,5 L) koşullar altında 41,5°C'de 24-48 saat inkübe edilmiştir. Üreyen koloniler EN ISO 10272-1: 2017 referans yöntemine göre doğrulanmıştır.

Referans Bakteriler

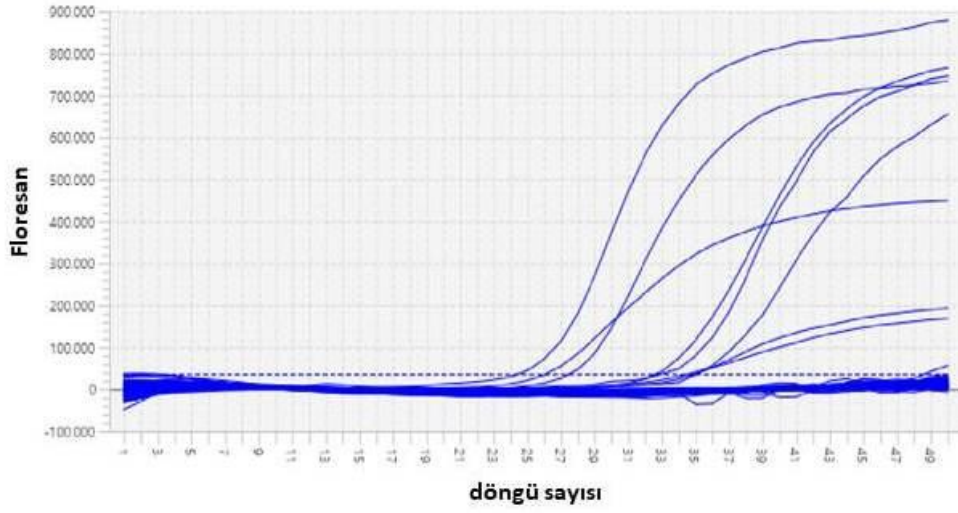
Yapılan çalışmada kontrol olarak *Campylobacter jejuni*, ATTC 29428 (Microbiologics), *Campylobacter coli*, ATTC 29428 (Microbiologics), *Campylobacter lari*, ATTC 29428 (Microbiologics) kullanılmıştır.

Bulgular

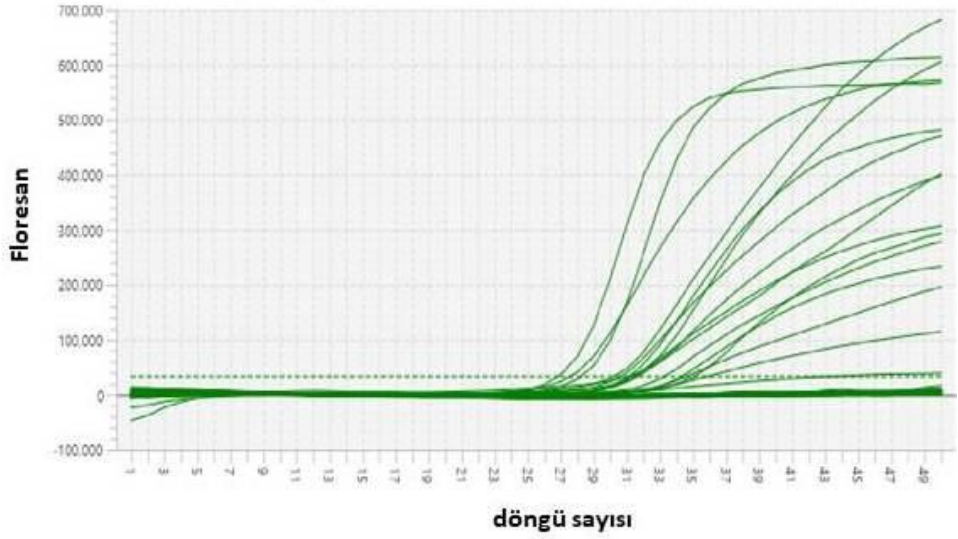
Çalışmada örneklerde *C. jejuni*, *C. coli* ve *C. lari* varlığına dair elde edilen internal kontrol pikleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Ayrıca örneklerde tespit edilen *C. jejuni*, *C. coli* ve *C. lari* analizlerine ait numunelerin sonuç grafikleri gösterilmiştir (Şekil 2, 3, 4).



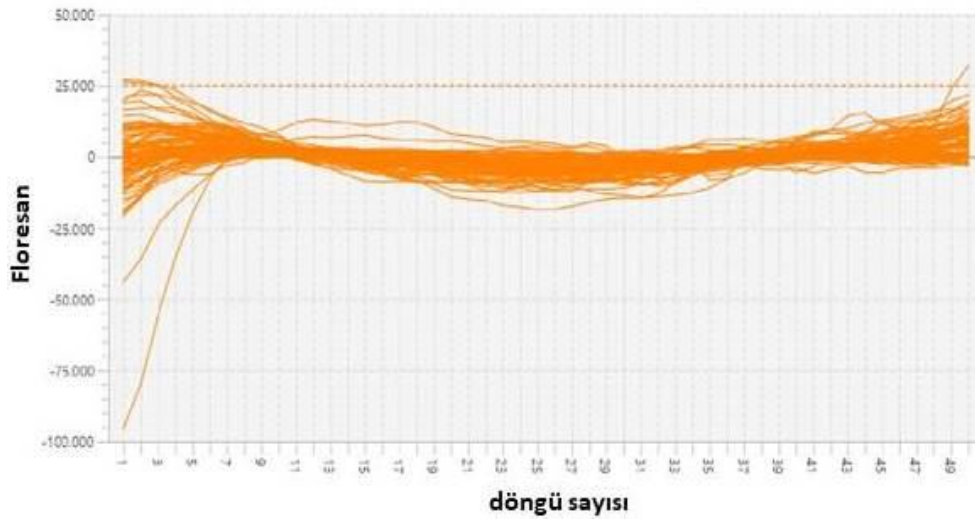
Şekil 1. *Campylobacter coli*, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter lari* integral kontrol pikleri



Şekil 2. Analize alınan örneklerin *Campylobacter jejuni* sonuçları



Şekil 3. Analize alınan örneklerin *Campylobacter coli* sonuçları



Şekil 4. Analize alınan örneklerin *Campylobacter lari* sonuçları

Yapılan çalışmada toplamda örneklerin %18,52 (15/81)'sinin *Campylobacter* ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. *C. jejuni*, kanat etlerinde %13,33 (4/30), but etlerinde %7,41 (2/27) oranında saptanmış olup, göğüs etlerinde tespit edilmemiştir. *C. coli* kanat etlerinde %3,33 (1/30), but etlerinde %25,93 (7/27), göğüs etlerinde %4,17 (1/24), seviyesinde tespit edilmiştir. *C. lari*, tüm piliç parça etlerinde (kanat, göğüs ve but) tespit edilmemiştir (Tablo 2).

Piliç parça etlerinde tespit edilen *C. jejuni* ve *C. coli* türlerinin örneklerle göre dağılımı Tablo 3'de gösterilmiştir. But örneklerinin 5 tanesinde *C. coli* tespit edilirken 2 tanesinde hem *C. jejuni* hem de *C. coli* tespit edilmiştir. Çalışmada bir tane göğüs eti örneğinde *C. coli* tespit edilmiştir. Analize alınan kanat örneklerinde ise 4 tanesinde *C. jejuni*, bir tanesinde *C. coli* tespit edilmiştir. Örnek çeşitlerinin hiçbirinde *C. lari* saptanmamıştır.

Moleküler yöntem ile *C. jejuni* ve *C. coli* tespit edilen numuneler klasik kültür yöntemi ile de analize alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre moleküler yöntem ile *Campylobacter* tespit edilen numunelerden klasik kültür yöntemi ile *Campylobacter* türleri tespit edilmiş ve doğrulanmıştır.

Tablo 2. Analiz edilen piliç eti örneklerinde *Campylobacter* spp varlığı

| Numune | N | <i>Campylobacter</i> spp | | <i>C. jejuni</i> | | <i>C. coli</i> | | <i>C. lari</i> | |
|---------------|-----------|--------------------------|--------------|------------------|-------------|----------------|--------------|----------------|----------|
| | | n | % | n | % | n | % | n | % |
| But | 27 | 9 | 33,33 | 2 | 7,41 | 7 | 25,93 | 0 | 0 |
| Göğüs | 24 | 1 | 4,17 | 0 | 0,00 | 1 | 4,17 | 0 | 0 |
| Kanat | 30 | 5 | 16,67 | 4 | 13,33 | 1 | 3,33 | 0 | 0 |
| Toplam | 81 | 15 | 18,52 | 6 | 7,41 | 9 | 11,11 | 0 | 0 |

N: toplam örnek sayıları; n: pozitif tespit edilen örnek sayıları

Tablo 3. Numunelere göre pozitif izolat dağılımları

| Numune | <i>C. jejuni</i> | <i>C. coli</i> | <i>C. lari</i> |
|---------------|------------------|----------------|----------------|
| But | - | + | - |
| But | - | + | - |
| But | - | + | - |
| But | + | + | - |
| But | + | + | - |
| But | - | + | - |
| But | - | + | - |
| Göğüs | - | + | - |
| Kanat | + | - | - |
| Kanat | + | - | - |
| Kanat | - | + | - |
| Kanat | + | - | - |
| Kanat | + | - | - |
| Toplam | 6 | 9 | 0 |

Tartışma

Analize alınan 81 piliç parça etinin %18,52 (15/81)'sinin *Campylobacter* ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. *C. jejuni*, kanat etlerinde %13,33 (4/30), but etlerinde %7,41 (2/27) oranında saptanmış olup, göğüs etlerinde tespit edilmemiştir. *C. coli* kanat etlerinde %3,33 (1/30), but etlerinde %25,93 (7/27), göğüs etlerinde %4,17 (1/24), seviyesinde tespit edilmiştir. *C. lari*, tüm piliç parça etlerinde (kanat, göğüs ve but) tespit edilmemiştir (Tablo 2). Kanatlı eti ve parça etlerde yapılan çalışmalarda farklı oranlarda *Campylobacter* spp. tespit edilmiştir.

Kestir ve Özpınar (2018) yılında İstanbul ilinde yapmış oldukları çalışmada; toplanan 100 adet çiğ tavuk kanadı ve tavuk baget örneklerinde yapılan kültür ekimi sonucunda Bruker Daltonik Maldi kütle spektrometresi ile %10,7 *C. jejuni/C. coli* olarak tiplendirmiştir. Hindi etlerinde yapılan bir çalışmada Uçar ve ark., (2007), Konya'da çeşitli market ve kasaplardan toplanan toplam 117 adet çeşitli hindi eti ürünlerinden, numunelerin 25'inde (%36,36) *Campylobacter* türleri saptanmıştır. *Campylobacter* türlerinin dağılım oranları; %5,12'si *C. jejuni*, %8,54'ü *C. coli* ve %7,69'u *C. lari* olarak bildirilmiştir (Uçar ve ark., 2007). Çokal (2015) Ağustos 2013- Şubat 2014 tarihleri arasında Bandırma'da 9 adet ticari yumurtacı tavuk kümesinden alınan 362 adet taze dışkı örneği ile yaptığı araştırmada %39,8 oranında *Campylobacter* spp. tespit etmiştir. İzole edilen 144 adet *Campylobacter* izolatlarının 88'i *C. jejuni* (%61,1) ve 56'sını *C. coli* (%38,9) olarak tanımlamıştır. Bardon ve ark. (2011), tarafından Çek Cumhuriyeti'nde yapılan araştırmada; 2009 yılının şubat ayı ile kasım ayları arasında lokal süpermarketlerden toplanan 120 adet soğutulmuş ve 120 adet dondurulmuş tavuk eti numunesi toplanmıştır. Analiz sonucu soğutulmuş ürünlerde %75 oranında dondurulmuş ürünlerde ise %37 oranında *Campylobacter* spp. tespit edilmiştir. Numunelerin %70'inde *Campylobacter jejuni*, %18'inde *Campylobacter coli*, %12'sinde ise hem *C. jejuni* hem de *C. coli* bulunmuştur. *Campylobacter lari* ve *Campylobacter upsaliensis* tespit edilememiştir (Bardon ve ark., 2011). Sakaridis ve ark. (2019), tarafından Yunanistan'daki kanatlı mezbahalarındaki *Campylobacter* türlerinin ve izolatlarının arasında klonal ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla 2019'da yapılan çalışmada 50 adet kümes hayvanı numunesi (karkasların boyun derisinden alınan) ve 25 adet çevresel numune mikrobiyel kültür ve PCR tekniği kullanılarak incelendiğinde kümes hayvanı numunesinde %98 pozitif *Campylobacter* spp. tespit edilmiştir. Çevresel numunelerin büyük çoğunluğunda *Campylobacter* spp. tespit edilmiştir. Issa ve ark. (2018), tarafından İstanbul'daki çeşitli süpermarketlerden ve mezbahalardan toplanan 540 çiğ tavuk etlerinden termofilik *Campylobacter* türlerinin prevalansını belirlemek amacıyla yapılan çalışmada *Campylobacter* spp. %66,1 (357 adet) oranında tespit edilmiştir. 357 adet numunenin 268 adedi *C. jejuni*, 89 adedi *C. coli* olarak tespit edilmiştir. Stella ve ark. (2017) yılında İtalya'daki pazarlanan kanatlı etlerindeki *Campylobacter* kontaminasyonu değerlendirmek amacıyla 472 numune ile çalışma yapmışlardır. İtalya'daki farklı fabrika ve perakendecilerden tavuk eti ve hindi eti (çeşitli et türü, sakatatlar, et ürünleri) toplanarak yapılan çalışmada; %34,1 oranında *Campylobacter* spp. izole edilmiştir. Erdoğan (2020) tarafından yapılan çalışmada; toplamda 120 adet numunedan %51,6 oranında *Campylobacter* spp. tespit edilmiş

olup, şüpheli örneklerde PCR tekniği kullanarak *C.jejuni* varlığını doğrulamışlardır. Bulgaristan'daki pazarlarda satışa sunulan dondurulmuş kümes hayvanlarının sakatlarındaki *Campylobacter* spp. varlığını araştırmak için yapılan çalışmada karaciğerde %15,5, kursakta %41,8 ve kalpte %22,5 oranında *Campylobacter* tespit edilmiştir. Karaciğerde *Campylobacter coli* %77,8 oranında, *C. jejuni* ise %22,2 oranında bulunurken, kursak ve kalpte *C. jejuni* oranı sırasıyla %78,2 ve %55,6 olarak bulunmuştur (Vashin ve ark., 2009).

Amerikan CDC (Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezi)'nin verilerine göre ülke genelinde *Campylobacter jejuni* 19 916 vaka ile %28,93, *C. coli* 2164 vaka ile %3,14 ve *C. lari* ise 161 vaka ile %0,23 oranlarıyla ülke genelinde görülmektedir. Ülke genelinde en fazla patojene sahip *Campylobacter* spp. suşu *Campylobacter jejuni* olmuştur (CDC, 2021). *Campylobacter* enfeksiyonları tüm dünyada yaygın olarak görülen ve halk sağlığını tehdit eden önemli zoonozlar arasında yer almaktadır. Özellikle *Campylobacter jejuni*'nin tavuk karkaslarının barsak florasının normal üyesi olması sebebiyle özellikle mezbahalarda kesim sırasında hijyen kurallarına uyulmadığı zaman kontaminasyon görülmektedir.

Araştırma sonuçlarımız *Campylobacter* spp. yönünden değerlendirildiğinde, Bardou ve ark. (2011), Issa ve ark. (2018), Sakaridis ve ark. (2019)'nin verilerinden yüksek; Kestir ve Özpınar (2018) daha düşük veriler; Uçar ve ark. (2007), Çokal (2015) benzer veriler elde edilmiştir. Mevcut araştırma sonuçlarının diğer araştırmalardan farklı sonuçlar olması; çalışmada kullanılan örnek sayısına, örnek toplama mevsimlerine, kullanılan analiz yöntemlerine bağlı olabilmektedir. Ayrıca örneklerin alındığı bölgelerdeki üretimin tüm aşamalarında hijyenik şartlara uyulma oranı, özellikle üreticilerin bu konudaki sorumluluk duyguları ile yapılan denetimlerin sıklığı etkili olabilmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada piliç parça etlerinin %18.52'sinin *Campylobacter* ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. Analize alınan piliç parça etlerinde farklı oranlarda *Campylobacter* spp. tespit edilmiştir. *C. jejuni* kontaminasyon oranı en yüksek kanat etinde olduğu tespit edilmiştir. *Campylobacter* varlığı üzerine; canlı hayvanların enfekte olmasının, kesimhaneye prosedürlerindeki hataların, üretim nakliye depolama hatalarının, yetersiz ısı işlemin ve çapraz kontaminasyonun etkisi bulunabilmektedir. Bu kapsamda enfeksiyonun çiftlik aşamasında oluşmasının önüne geçilmesi, yetiştiricilikle entansif yetiştiriciliğin özendirilmesi, biyogüvenlik önlemlerine uyulması, rodent ve insektisitlerle gerekli mücadele yapılması gerekmektedir. Ayrıca mezbahalarda kesim prosesine azami özen gösterilmeli, tüy yolma ve iç organlarının çıkarılması aşamalarında oluşabilecek kontaminasyon engellenmelidir. Kanatlı karkasları ve parça etleri soğutulularak, soğukta veya dondurularak muhafaza edilmelidir. Çapraz kontaminasyona ve kanatlı et ve ürünlerinin tüketiminde ısı işleme dikkat edilmelidir. Üretimin tüm aşamalarında personel, hava, su ve ekipman hijyeni ile temizlik ve sanitasyona uyulmalıdır. Periyodik olarak iç kontrol ve denetimler yapılmalıdır. Tüm bakteriyel zoonoz enfeksiyonlarda olduğu gibi *Campylobacter* spp. enfeksiyonlarının önlenmesinde de en büyük

etken hijyen kurallarına uymaktır. Bu nedenle “çiftlikten çatala prensibi” ile HACCP ve ISO 22001 prosedürleri eksiksiz yerine getirilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Proje Araştırmaları Koordinasyon Birimi (Proje No: 20.SAĞ.BİL.34) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışma Fidan Didem Arpacı'nın Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan yüksek lisans (2022-003) tez konusundan üretilmiştir.

Kaynaklar

- Bardon J., Kolář M., Karpíšková R., Hricová, K. Prevalence of thermotolerant *Campylobacter* spp. in broilers at retail in the Czech Republic and their antibiotic resistance. *Food Control* 2011; 22(2): 328-332.
- Borucu R., Çaycı Y.T., Birinci A. Klinik örneklerden *Campylobacter* türlerinin üretilmesinin araştırılması ve antibiyotik duyarlılıklarının belirlenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2017; 5(1): 15-19.
- Büyükcünal SK. İstanbul'da satışa sunulan piliç etlerinde termotolerant *Campylobacter* spp. prevalansı ve antibiyotik dirençliliği. *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine* 2017; 43(2): 97-109.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pathogen Surveillance, <https://www.cdc.gov/foodnetfast/>, (Erişim tarihi: 10.12.2021), 2021.
- Çakmak ÖY. Hindi etlerinde *Campylobacter jejuni*'nin kültür tekniği ve PCR ile saptanması, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 102, Ankara, 2019.
- Çokal Y. Ticari Yumurtacı tavuk sürülerinde termofilik *Campylobacter* spp. prevalansı ve antibiyotik duyarlılıkları. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi* 2015; 4(2): 85-90.
- Erdoğan S. Aydın bölgesinde satışa sunulan et ve et ürünlerinde *Campylobacter jejuni* ve *Listeria Monocytogenes* varlığının araştırılması. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Entitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99 sayfa, Aydın, 2020.
- Europa Food Safety Authority (EFSA). *Campylobacteriosis cases stable, listeriosis cases continue to rise*, say EFSA and ECDC, Published: 28 January 2015. <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/150128>, (Erişim tarihi: 10.12.2021), 2015.

- Gülmez M. *Campylobacter jejuni* izolasyonunda bazı kültürel tekniklerin karşılaştırılması ve tavuk etlerinde termofilik *Campylobacter*lerin araştırılması. Kafkas Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 80 sayfa, Kars, 1999.
- Hızlısoy H., Al S., Onmaz N.E., Yıldırım Y., Gönülalan Z., Barel M., Dişli H.B. Farklı kesimhanelerden izole edilen *Campylobacter* türlerinin virülans genleri, antibiyotik duyarlılık profilleri ve moleküler karakterizasyonu. Mikrobiyoloji Bülteni 2020; 54(1): 11-25.
- Humphrey T., O'Brien S., Madsen M. *Campylobacters* as zoonotic pathogens: A food production perspective. Int J Food Microbiol 2007; 117: 237-257.
- Issa G., Basaran Kahraman B., Adiguzel MC., Yilmaz Eker F., Akkaya E., Bayrakal GM., Kahraman T., Koluman A. Prevalence and antimicrobial resistance of thermophilic *Campylobacter* isolates from raw chicken meats, Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2018; 24(5): 701-702.
- Kestir E., Özpınar H. Kanatlı etlerinde *campylobacter* türlerinin kültür yöntemi ve kütle spektrometresi ile tespiti. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi 2018; 5: 479-493.
- Öngen B. Türkiye'de ishal etkenleri. ANKEM Derg 2006; 20(Ek 2):122-134.
- Özgür M. İçme sularında termofilik *campylobacter* türlerinin araştırılması. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 92 sayfa, Edirne, 2020.
- Ray B., Bhunia, A. Fundamental Food Microbiology , Temel Gıda Mikrobiyolojisi. 5. Basım, Heparan, D., Nobel Yayın, 2016, Ankara
- Sakaridis I., Papadopoulos T., Boukouvala E., Ekateriniadou L., Samouris G., Zdragas A. Prevalence, antimicrobial resistance, and molecular typing of thermophilic *Campylobacter* spp. in a greek poultry slaughterhouse. Acta Veterinaria-Beograd 2019; 69(3): 325-339.
- Stella S., Soncini G., Ziino G., Panebianco A., Pedonese F., Nuvoloni, R., Giaccone V. Prevalence and quantification of thermophilic *Campylobacter* spp. in Italian retail poultry meat: Analysis of influencing factors. Food Microbiology 2017; 62: 232-238.
- Uçar G., Keleş A., Güner A., Doğruer Y., Ardıç M. Hindi eti ve ürünlerinde termofilik *Campylobacter* türlerinin varlığının araştırılması. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi 2007; 2(4): 129-133.
- Vashin I., Stoyanchev T., Ring C., Atanassova V. Prevalence of *Campylobacter* spp. in frozen poultry giblets at Bulgarian retail markets. Trakia Journal of Science 2009; 7(4): 55-57.
- Yağız A. Sığır karkaslarından ve etlerinden termofilik *campylobacter* spp. izolasyonu ve izolatların antibakteriyel duyarlılıkları. Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri enstitüsü Veteriner Mikrobiyoloji, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2017.

A New Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace Distribution with Properties and Application to Wind Speed Data

Abdullah YILMAZ^{1*}

¹Kırıkkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Aktüerya Bilimleri Bölümü, Kırıkkale

¹<https://orcid.org/0000-0002-1196-9541>

*Sorumlu yazar: a.yilmaz@kku.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 08.01.2023

Accepted: 24.01.2023

Published online: 10. 03.2023

Keywords:

Skew-symmetric distribution

Skewness

Skew Normal distribution

Gudermannian distribution

Laplace distribution

ABSTRACT

We introduce a novel probability distribution that may be used to model both skewed and symmetric data. This new distribution, called the skew-symmetric Gudermannian-Laplace (SSGL) distribution, includes a shape parameter that allows it to change the asymmetry. Some fundamental statistical properties of the new distribution have been given explicit analytical expressions. The study also includes parameter estimations and simulation sections. We considered two datasets in the real-world data application. The first dataset is the "heights of 100 Australian athletes" data, which is discussed in many studies examining alternative skewed models. The second dataset contains the average wind speeds recorded by the İstanbul Çatalca meteorological observatory in January 2020. We showed that the SSGL distribution outperforms its well-known alternative, the Skew-Normal distribution, in both datasets. As a result of the study, it was concluded that the SSGL distribution is a suitable alternative for modeling skewed data.

Özellikleri ve Rüzgar Hızı Verilerine Uygulanması ile Yeni Çarpık-Simetrik Gudermannian-Laplace Dağılımı

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.01.2023

Kabul tarihi:24.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Çarpık-Simetrik dağılım

Çarpıklık

Çarpık Normal dağılım

Gudermannian dağılımı

Laplace dağılımı

ÖZ

Bu makalede hem çarpık hem de simetrik verileri modellemek için kullanılacak yeni bir olasılık dağılımı sunuyoruz. Çarpık simetrik Gudermannian-Laplace (SSGL) dağılımı olarak adlandırılan bu yeni dağılım, asimetriyi değiştirmesine izin veren bir şekil parametresi içerir. Yeni dağılımın bazı temel istatistiksel özelliklerine açık analitik ifadeler verilmiştir. Çalışma aynı zamanda parametre tahminleri ve simülasyon bölümlerini de içermektedir. Gerçek dünya veri uygulamasında ise iki veri kümesini ele aldık. İlk veri seti, alternatif çarpık olasılık modellerini inceleyen birçok çalışmada el alınan "100 Avustralyalı sporcunun boyları" verisidir. İkinci veri seti, İstanbul Çatalca meteoroloji gözlemevi tarafından Ocak 2020'de kaydedilen ortalama rüzgar hızlarıdır. SSGL dağılımının, her iki veri setinde de iyi bilinen alternatifi olan Çarpık-Normal dağılımından daha iyi performans gösterdiğini gösterdik. Çalışma sonucunda SSGL dağılımının çarpık verilerin modellenmesi için uygun bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

To Cite: Yılmaz A. A New Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace Distribution with Properties and Application to Wind Speed Data. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 842-853.

1. Introduction

Data may have a longer tail on one side than the other, indicating that it is "skewed." Understanding skewed data is crucial for a data scientist or other professional who works with data because most real-world situations aren't symmetrical—real data sets are frequently skewed. Skewed data, on the other hand, can pose problems with statistical models because outliers, which frequently generate skew, can have a harmful effect on a model's performance. In this regard, the presence of a skewness parameter in a probability distribution improves modeling success. There are several methods of obtaining skew-adjustable probability distributions via a parameter. For a detailed review of these methods, we advise interested readers to check (Gupta & Kundu, 2009). In this study, we shall focus on one of these approaches, the family of skew-symmetric distributions, which was introduced by Azzalini (Azzalini, 1985).

The skew-symmetric distribution family is a wide family of probability density functions that include the skewness parameter(s). The following lemma defines the main frame of probability distributions in the family (Azzalini, 1985).

Lemma: Let f be a density function symmetric about zero, and Ψ is a Lebesgue measurable function satisfying (i) $0 \leq \Psi(x) \leq 1$, (ii) $\Psi(x) + \Psi(-x) = 1$ for $x \in \mathbb{R}$. Then

$$h(x) = 2f(x)\Psi(g(x)) \quad (1)$$

is a probability density function, where g is a function that is odd and continuous.

Proof: Let $t(x) = 2\Psi(g(x)) - 1$. It is easy to show that t is an odd function. Due to f is a pdf symmetric about zero it's an even function and $f(x)t(x)$ is an odd function. Thus

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x)dx - 1 = \int_{-\infty}^{\infty} 2f(x)\Psi(g(x))dx - 1 = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)t(x)dx = 0.$$

Many studies in the literature have focused on the skew-symmetric distributions produced by the various choices of base distribution f , skewing function Ψ , and odd function g . Azzalini (Azzalini, 1985) introduced the skew-normal distribution $SN(\lambda)$ in his pioneering work, and $h(x) = 2\varphi(x)\Phi(\lambda x)$ represents its density function, where φ and Φ are the probability density function (pdf) and cumulative density function (cdf) of a standard normal distribution, and $\lambda \in \mathbb{R}$ is the asymmetry parameter. Elal-Olivero (Elal-Olivero, 2010) introduced the alpha skewed-normal distribution ($ASN(\alpha)$) by taking the skewing function $\Psi(x) = ((1 - \alpha x)^2 + 1)(2 + \alpha^2)^{-1}$ and the base distribution φ . Arellano-Valle et al. (Arellano-Valle, Gómez, & Quintana, 2004) presented a skew-normal distribution generalization, where f and Ψ are the pdf and cdf of the normal distribution, respectively, and $g(x) = (\lambda_1 x)(1 + \lambda_2 x^2)^{-1/2}$, where $\lambda_1 \in \mathbb{R}$ and $\lambda_2 \geq 0$ are real constants. Ma and Genton (Ma & Genton, 2004) proposed the flexible-skew-normal distribution, where $g(x) = (\alpha x + \beta x^3)$. This is a particular case of flexible skew-generalized normal distribution (Nekoukhou,

Alamatsaz, & Aghajani, 2013), with $(x) = (\lambda_1 x + \lambda_3 x^3)(1 + \lambda_2 x^2)^{-1/2}$. The purpose of this work is to introduce the new Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace distribution.

The contents of the rest of this paper are as follows: The skew-symmetric Gudermannian-Laplace distribution is introduced in the next section. In addition, this section includes studies on skewness and kurtosis coefficients, entropy, and raw moments of distribution. The next section provides inference procedures for maximum likelihood estimation and simulation studies. The final two sections of the study are the application of real data section, which demonstrates the usefulness of the new distribution, and the conclusion section, which discusses some findings related to the proposed distribution.

2. Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace Distribution

In this section, the probability density function of the skew-symmetric Gudermannian-Laplace distribution is presented with some basic properties. We use the base distribution in eq(1) as standardized generalized Gudermannian (GG) which is symmetric about zero. The pdf of standardized GG distribution is (Altun, 2019)

$$f(x) = \frac{e^{\frac{\pi x}{2}}}{e^{\pi x} + 1}, \quad x \in \mathbb{R}.$$

As skewing function Ψ , we use the cdf of the well-known Laplace distribution. Thus, by taking the odd function $g(x) = \lambda x$, our skewing function is obtained as

$$\Psi(g(x)) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}/2 & , \lambda x \geq 0 \\ e^{\lambda x}/2 & , \lambda x < 0 \end{cases}, \quad \lambda, x \in \mathbb{R}.$$

Definition: A random variable X has the Skew-Symmetric Gudermannian-Laplace distribution with parameter λ , $X \sim SSGL(\lambda)$, if its pdf has the form

$$h(x; \lambda) = \frac{e^{\frac{\pi x}{2}}}{e^{\pi x} + 1} [(1 - e^{-|\lambda x|}) \text{sgn}(\lambda x) + 1], \quad x \in \mathbb{R} \quad (2)$$

where sgn is the signum function, $\lambda \in \mathbb{R}$ is a shape parameter and controlling the skewness.

Cumulative Distribution Function (Cdf) : It is clear that $h(x; 0) = f(x)$, thus $H(x; 0) = 2\pi^{-1} \arctan[\exp\{x\pi/2\}]$ (Altun, 2019). We give the cdf of the $X \sim SSGL(\lambda)$ random variable as two separate functions for $\lambda > 0$ and $\lambda < 0$ to save space. For $\lambda > 0$ cdf of X is

$$H(x; \lambda) = \begin{cases} \sec(\lambda) + \frac{ie^{i\lambda} B_{-e^{-\pi x}}\left(\frac{1}{2} - \frac{\lambda}{\pi}, 0\right)}{\pi} & , x < 0 \\ \frac{2\text{gd}\left(\frac{\pi x}{2}\right) + \pi \sec(\lambda) + ie^{i\lambda} B_{-e^{\pi x}}\left(\frac{1}{2} - \frac{\lambda}{\pi}, 0\right)}{\pi} & , x \geq 0 \end{cases}, \quad (3)$$

where $\text{gd}(x) = 2\arctan(\tanh(x/2))$ is the Gudermannian function and $B_z(a, b)$ is the incomplete beta function (Dutka, 1981). For $\lambda < 0$ we get

$$H(x; \lambda) = \begin{cases} -\sec(\lambda) - \frac{ie^{-i\lambda}B_{-e^{-\pi x}}\left(\frac{\Lambda}{2\pi}, 0\right) - 4\cot^{-1}\left(e^{\frac{\pi x}{2}}\right)}{\pi} + 2 & , x < 0 \\ \frac{2e^{\frac{\Lambda x}{2}} {}_2F_1\left(1, \frac{\Lambda}{2\pi}; \frac{\Lambda}{2\pi} + 1; -e^{\pi x}\right)}{\Lambda} - \frac{1}{2}\tan\left(\frac{\Lambda}{4}\right)\left(\cot\left(\frac{\Lambda}{4}\right) - 1\right)^2 & , x \geq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

where ${}_2F_1$ is the hypergeometric function (Abramowitz & Stegun, 1964) and $\Lambda = 2\lambda + \pi$.

Raw Moments: Let $X \sim SSGL(\lambda)$, then even moments of X is given by

$$E(X^{2k}) = \left| \sum_{i=1}^{2k} \left(-\frac{1}{2}\right)^i \sum_{L=0}^{2i} (-1)^L \binom{2i}{L} (i-L)^{2k} \right|, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

As can be seen, the even moments are unaffected by λ . Moreover, the values of even moments are $E(X^2) = 1$, $E(X^4) = 5$, $E(X^6) = 61$, $E(X^8) = 1385$, ... and are known as Euler numbers. Odd moments are calculated as

$$E(X^{2k-1}) = \frac{k! \left(-\zeta\left(k+1, \frac{2|\lambda| + \pi}{4\pi}\right) + \zeta\left(k+1, \frac{|\lambda|}{2\pi} + \frac{3}{4}\right) + \zeta\left(k+1, \frac{1}{4}\right) - \zeta\left(k+1, \frac{3}{4}\right) \right)}{\text{sgn}(\lambda) 2^k \pi^{k+1}}, \quad (6)$$

where ζ is the generalized Riemann zeta function (Edwards, 2001). By using raw moments, expected value and variance of X calculated as

$$E(X) = \frac{\text{sgn}(\lambda)}{2\pi^2} \left(-\zeta\left(2, \frac{2|\lambda| + \pi}{4\pi}\right) + \zeta\left(2, \frac{|\lambda|}{2\pi} + \frac{3}{4}\right) + 16C \right), \quad (7)$$

$$\text{Var}(X) = 1 - \frac{1}{4\pi^4} \left(-\zeta\left(2, \frac{2|\lambda| + \pi}{4\pi}\right) + \zeta\left(2, \frac{|\lambda|}{2\pi} + \frac{3}{4}\right) + 16C \right)^2. \quad (8)$$

where $C \cong 0.915966$ and known as the Catalan number. Limiting case of an odd moment is

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} E(X^{2k-1}) = \frac{(2k-1)(\zeta(k+1, 1/k+1) - \zeta(k+1, 3/k+1))}{(k+1)\pi^4 \text{sgn}(\lambda)}.$$

Thus

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} E(X) = 8C/\pi^2 \text{sgn}(\lambda) = -0.7425 \times \text{sgn}(\lambda),$$

and

$$\lim_{|\lambda| \rightarrow \infty} Var(X) = 1 - \frac{64C^2}{\pi^4} = 0.44876.$$

It is obvious that $Var(X) = 1$ for $\lambda = 0$.

Skewness and Kurtosis: The third standardized moment is the skewness of a random variable X , which is defined as

$$SK_X = E\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X}\right)^3 = \frac{1}{\sigma_X^3}(E(X^3) - 3\mu_X\sigma_X^2 - \mu_X^3)$$

where $\mu_X = E(X)$ and $\sigma_X^2 = Var(X)$. The skewness coefficient of random variable $X \sim SSGL(\lambda)$ can be calculated using eq(8), eq(9), and eq(10) as

$$SK_X(\lambda) = \frac{\text{sgn}(\lambda)^3(-\zeta(2, \Lambda_1) + \zeta(2, \Lambda_2) + 16C)^3 - 3\pi^2 \text{sgn}(\lambda) \left(\begin{array}{l} 2\pi^2(\zeta(2, \Lambda_2) - \zeta(2, \Lambda_1)) \\ + \zeta(4, \Lambda_1) - \zeta(4, \Lambda_2) \\ + 32\pi^2 C - \zeta\left(4, \frac{1}{4}\right) + \zeta\left(4, \frac{3}{4}\right) \end{array} \right)}{4\pi^6 \left(1 - \frac{\text{sgn}(\lambda)^2(-\zeta(2, \Lambda_1) + \zeta(2, \Lambda_2) + 16C)^2}{4\pi^4}\right)^{3/2}},$$

where $\Lambda_1 = \frac{2|\lambda| + \pi}{4\pi}$ and $\Lambda_2 = \frac{|\lambda|}{2\pi} + \frac{3}{4}$. Considering the limit case,

$$SK_X(\lambda) \xrightarrow{|\lambda| \rightarrow \infty} \frac{-96\pi^4 C + 4096C^3 + 3\pi^2 \left(\zeta\left(4, \frac{1}{4}\right) - \zeta\left(4, \frac{3}{4}\right) \right)}{\text{sgn}(\lambda)4(\pi^4 - 64C^2)^{3/2}} = \text{sgn}(\lambda) \times 1.7978$$

is obtained for $|\lambda| \rightarrow \infty$. As can be seen, the skewness of the distribution follows the same sign as the parameter λ . It is obvious that $SK_X(0) = 0$ and denotes the symmetric case.

The kurtosis coefficient of a random variable is defined as its 4th central moment and is expressed as

$$KR_X = E\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X}\right)^4 = \frac{1}{\sigma_X^4}(E(X^4) - 4\mu_X E(X^3) + 6\mu_X^2 E(X^2) - 3\mu_X^4).$$

The skewness coefficient of random variable $X \sim SSGL(\lambda)$ can be calculated using eq(7), eq(8), and eq(10) as

$$KR_X(\lambda) = \frac{\frac{3\text{sgn}(\lambda)^4 \left(\frac{-\zeta(2, \Lambda_1)}{+\zeta(2, \Lambda_2) + 16C} \right)^4}{16\pi^8} + \frac{3\text{sgn}(\lambda)^2 \left(\frac{-\zeta(2, \Lambda_1)}{+\zeta(2, \Lambda_2) + 16C} \right) \left(\frac{\pi^2(\zeta(2, \Lambda_2) - \zeta(2, \Lambda_1))}{+\zeta(4, \Lambda_1) - \zeta(4, \Lambda_2)} + 16\pi^2 C - \zeta\left(4, \frac{1}{4}\right) + \zeta\left(4, \frac{3}{4}\right) \right)}{2\pi^6} + 5}{\left(1 - \frac{\text{sgn}(\lambda)^2(-\zeta(2, \Lambda_1) + \zeta(2, \Lambda_2) + 16C)^2}{4\pi^4} \right)^2}$$

It is easy to calculate $KR_X(0) = 5$. The limiting case of kurtosis is

$$KR_X(\lambda) \xrightarrow{|\lambda| \rightarrow \infty} \frac{-12288C^4 + 384\pi^4 C^2 + 4\pi^2 C \left(\psi^{(3)}\left(\frac{3}{4}\right) - \psi^{(3)}\left(\frac{1}{4}\right) \right) + 5\pi^8}{(\pi^4 - 64C^2)^2} = 7.978.$$

Using numerical approach, we observe that the kurtosis coefficient is minimum at $\lambda=1/2$ and equal to 4.8981.

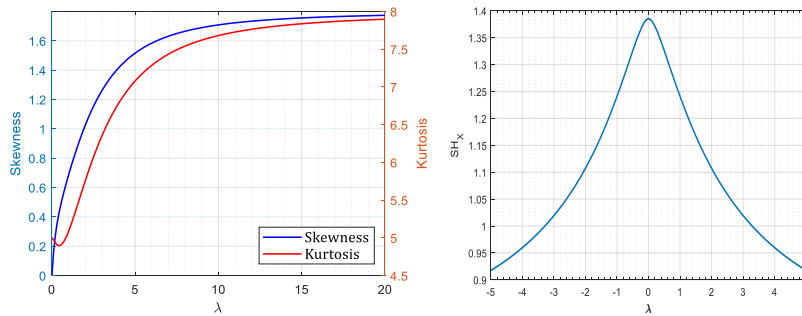


Figure 1. Skewness and kurtosis (left) and Shannon entropy (right) of $SSGL(\lambda)$ distribution according to λ .

Note that, $SK_X(-\lambda) = -SK_X(\lambda)$ and $KR_X(-\lambda) = KR_X(\lambda)$. The left panel of Figure 1 shows the effect of the λ parameter on the skewness and kurtosis coefficients in the range $\lambda \in [0,20]$, and can be interpreted for $\lambda \in [-20,20]$.

Shannon Entropy: Entropy is a measure of the variation or uncertainty of a random variable. Shannon entropy, defined as $SH_X = E(-\ln f_X(X))$, is the most well-known measure of entropy. The right panel of Figure 1 shows the Shannon entropy graph for the random variable $X \sim SSGL(\lambda)$ in the range of λ values between $[-5,5]$. The highest entropy value has been numerically observed to be 1.386 at $\lambda = 0$. Given that the variance in eq(8) reaches its highest value of 1 at $\lambda = 0$, we may argue that the uncertainty in the distribution reaches its maximum in the symmetric case. On the other hand, the sign of the λ parameter has no effect on the entropy value.

Location-Scale Extension: Location and scale parameters, μ and σ respectively, can be introduced by means of $X = \sigma Z + \mu$, where Z is a random variable with density eq(2). Thus, the pdf of X is obtained as

$$h(x; \mu, \sigma, \lambda) = \frac{e^{\frac{\pi}{2\sigma}(x-\mu)}}{\sigma \left(e^{\frac{\pi}{2\sigma}(x-\mu)} + 1 \right)} \left[\operatorname{sgn}(\lambda(x-\mu)) \left(1 - e^{-\frac{|\lambda(x-\mu)|}{\sigma}} \right) + 1 \right], \quad (9)$$

where $\mu \in \mathbb{R}$, $\sigma > 0$, and $\lambda \in \mathbb{R}$. We use the notation $SSGL(\mu, \sigma, \lambda)$ for X . Figure 2 illustrates the pdf of the location scale extended $SSGL$ distribution with different parameter values.

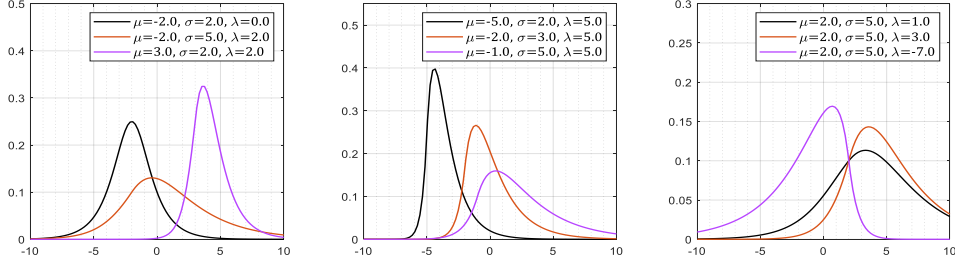


Figure 2. Plots of $SSGL(\mu, \sigma, \lambda)$ pdf.

3. Estimation of Parameters and Simulation

In this section, we will study the maximum likelihood estimators of the parameters of the $SSGL(\mu, \sigma, \lambda)$ distribution. Let X_1, X_2, \dots, X_n be a random sample from this distribution. The logarithmic likelihood function can be expressed as

$$L(\mu, \sigma, \lambda; \underline{X}) = \sum_{i=1}^n \log e^{\frac{\pi(X_i-\mu)}{2\sigma}} \left(\frac{1 - e^{-\frac{|\lambda(X_i-\mu)|}{\sigma}}}{\operatorname{sgn}(\lambda(X_i-\mu))} + 1 \right) - \sum_{i=1}^n \log \sigma \left(e^{\frac{\pi(X_i-\mu)}{\sigma}} + 1 \right)$$

directly from eq(9). We obtain the following normal equations by taking the first derivatives of L with respect to μ, σ and λ , and setting them to zero:

$$\sum \log \left(\frac{e^{\frac{\pi\Delta}{2}}}{2\sigma^3(e^{\pi\Delta} + 1)^2} \left(\frac{-2(e^{\pi\Delta} + 1)(\lambda\Delta\sigma \operatorname{Abs}'(\lambda\Delta) + \sigma^2 \operatorname{sgn}'(\sigma)(e^{|\lambda\Delta|} - 1))}{\operatorname{sgn}(\lambda\Delta)e^{|\lambda\Delta|}} + 2\pi\Delta\sigma e^{\pi\Delta} \left(\frac{1 - e^{-|\lambda\Delta|}}{\operatorname{sgn}(\lambda\Delta)} + 1 \right) - \pi\Delta\sigma(e^{\pi\Delta} + 1) \left(\frac{1 - e^{-|\lambda\Delta|}}{\operatorname{sgn}(\lambda\Delta)} + 1 \right) - 2\sigma(e^{\pi\Delta} + 1) \left(\frac{1 - e^{-|\lambda\Delta|}}{\operatorname{sgn}(\lambda\Delta)} + 1 \right) \right) \right) = 0$$

$$\sum \log \left(\frac{\Delta e^{\frac{\pi\Delta}{2} - |\lambda\Delta|} (\operatorname{sgn}(\lambda\Delta) \operatorname{Abs}'(\lambda\Delta) + \sigma(e^{|\lambda\Delta|} - 1) \operatorname{sgn}'(\lambda\Delta))}{\sigma(e^{\pi\Delta} + 1)} \right) = 0$$

$$\sum \log \left(\frac{e^{\frac{\pi\Delta}{2} - |\lambda\Delta|}}{2\sigma^2(e^{\pi\Delta} + 1)^2} \left(\frac{\pi(e^{\pi\Delta} - 1)(e^{|\lambda\Delta|} - 1) - 2\lambda(e^{\pi\Delta} + 1) \operatorname{Abs}'(\lambda\Delta)}{\operatorname{sgn}(\lambda\Delta)} - \frac{2\lambda\sigma(e^{\pi\Delta} + 1)(e^{|\lambda\Delta|} - 1)}{\operatorname{sgn}'(\lambda\Delta)} + \frac{\pi(e^{\pi\Delta} - 1)}{e^{-|\lambda\Delta|}} \right) \right) = 0$$

where $\Delta = (X_i - \mu)/\sigma$, respectively. Thus, the maximum likelihood (ML) estimates of the parameters μ, σ, λ , say $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$, and $\hat{\lambda}$, can be obtained by simultaneously and numerically solving these equations.

Monte-Carlo Simulation: We performed Monte Carlo simulation studies to illustrate the estimation performance of the obtained ML estimators. Since the quantile function of the distribution cannot be obtained analytically, the following algorithm can be used to generate random variables from the distribution.

- Step 1. Set parameter values (μ, σ, λ)
- Step 2. Generate $U \sim U(0,1)$
- Step 3. Solve $H(Z; \lambda) - U = 0$ with respect to Z , where $H(Z; \lambda)$ is the cdf of $SSGL(\lambda)$
- Step 4. Calculate $X = \sigma Z + \mu$

Different parameter values are used in Monte Carlo simulations. Table 1 shows the mean absolute bias (Bias) and mean squared error (MSE) values obtained from simulations repeated 1000 times for different sample sizes $n=30, 50, 100$ and 1000 . The formula used for computing Bias and MSE are given in follows

$$Bias = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} |\theta - \hat{\theta}|,$$

$$MSE = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (\theta - \hat{\theta})^2,$$

where θ represents the real parameter value and $\hat{\theta}$ is the maximum likelihood estimate of θ .

Table 1. Monte-Carlo simulation results.

| Parameter values | n | $\hat{\mu}$ | | $\hat{\sigma}$ | | $\hat{\lambda}$ | |
|--|------|-------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|
| | | Bias | MSE | Bias | MSE | Bias | MSE |
| $\mu = -2, \sigma = 2, \lambda = 1.5$ | 30 | 0.6046 | 0.6875 | 0.4017 | 0.2425 | 4.0394 | 124.85 |
| | 50 | 0.4872 | 0.4061 | 0.3508 | 0.1842 | 2.0410 | 29.356 |
| | 100 | 0.3175 | 0.1584 | 0.2419 | 0.0905 | 0.8769 | 1.3217 |
| | 1000 | 0.0920 | 0.0137 | 0.0795 | 0.0103 | 0.2414 | 0.0961 |
| $\mu = -2, \sigma = 2, \lambda = 7.5$ | 30 | 0.2375 | 0.1482 | 0.3691 | 0.2056 | 15.434 | 544.14 |
| | 50 | 0.1593 | 0.0640 | 0.2754 | 0.1258 | 9.4193 | 290.77 |
| | 100 | 0.1052 | 0.0187 | 0.1953 | 0.0579 | 5.3101 | 107.08 |
| | 1000 | 0.0261 | 0.0011 | 0.0562 | 0.0046 | 0.7638 | 0.9050 |
| $\mu = -4, \sigma = 6, \lambda = -2.5$ | 30 | 1.4335 | 4.1693 | 1.1915 | 2.1655 | 7.2708 | 248.88 |
| | 50 | 0.9649 | 1.6478 | 1.0101 | 1.5355 | 3.3004 | 76.773 |
| | 100 | 0.7528 | 0.9349 | 0.7843 | 0.9005 | 1.3555 | 7.4157 |
| | 1000 | 0.1963 | 0.0663 | 0.2164 | 0.0752 | 0.3088 | 0.1555 |
| $\mu = -3, \sigma = 4, \lambda = -7.5$ | 30 | 0.4714 | 0.4785 | 0.6439 | 0.6683 | 16.324 | 601.18 |
| | 50 | 0.2830 | 0.1332 | 0.5064 | 0.4064 | 9.2901 | 267.51 |
| | 100 | 0.1966 | 0.0643 | 0.3789 | 0.2089 | 4.6045 | 90.125 |
| | 1000 | 0.0573 | 0.0051 | 0.1225 | 0.0233 | 0.7168 | 0.8628 |

As seen in Table 1, we conducted our simulations with high and low skewness and sigma values. When we examine bias and MSE values in this table as the sample size increases, both the Bias and MSE values decrease for all parameter values. This shows that the estimations are precise and accurate, implying that they are consistent and unbiased. Because the ML estimators are asymptotically unbiased, this is an expected result.

4. Application to Real Data

The purpose of this section is to demonstrate the usefulness of the *SSGL* distribution by using two real-world data sets.

Australian Athletes Data: The first set is the heights (in centimeters) of 100 Australian athletes data (Telford & Cunningham, 1991), which is a popular data set in the literature, especially in studying skewed distributions. We employed Azzalini's skew Normal (SN) distribution and the well-known Normal (N) distribution to compare the modeling success of the *SSGL* distribution. The results are presented in Table 2 along with the maximum likelihood estimates, log-likelihood value (LH), Akaike information criterion (AIC) and Bayes information criterion (BIC) values, and Kolmogorov-Smirnov statistics with associated p-value (KS). In the same table, the observed values of some statistics and the theoretical values calculated by parameter estimates of these statistics are also presented.

Table 2. Summary of fits for Australian athletes data set.

| | $\hat{\mu}$ | $\hat{\sigma}$ | $\hat{\lambda}$ | -LH | KS (p) | AIC | BIC |
|------|-------------|----------------|-----------------|----------|--------------|---------|---------|
| SSGL | 177.920 | 8.762 | -0.614 | 348.064 | 0.046 (0.98) | 702.127 | 709.943 |
| SN | 182.269 | 11.232 | -1.718 | 350.303 | 0.075 (0.60) | 706.607 | 714.422 |
| N | 174.590 | 8.242 | - | 352.321 | 0.090 (0.37) | 708.641 | 713.852 |
| | Mean | Std.Dev. | Skewness | Kurtosis | Q1 | Median | Q3 |
| SSGL | 174.636 | 8.122 | -0.521 | 4.919 | 170.270 | 175.237 | 179.610 |
| SN | 174.524 | 8.135 | -0.370 | 3.233 | 168.934 | 174.323 | 179.662 |
| Data | 174.594 | 8.242 | -0.560 | 4.197 | 170.950 | 175.000 | 179.700 |

According to the KS values in Table 2, the goodness of fit of all three models could not be rejected. However, compared to the other two distributions based on LH, AIC, and BIC values, the *SSGL* distribution fits better. Considering the values reported in studies (Hasanalipour & Sharafi, 2012) and (Jamalizadeh, Behboodan, & Balakrishnan, 2008), the *SSGL* distribution is more successful than the alternatives mentioned in these studies.

Wind Speed Data: This dataset contains the average wind speeds recorded by the İstanbul Çatalca meteorological observatory (41°10'04.9"N, 28°29'27.1"E) in January 2020 at 2-hour intervals.

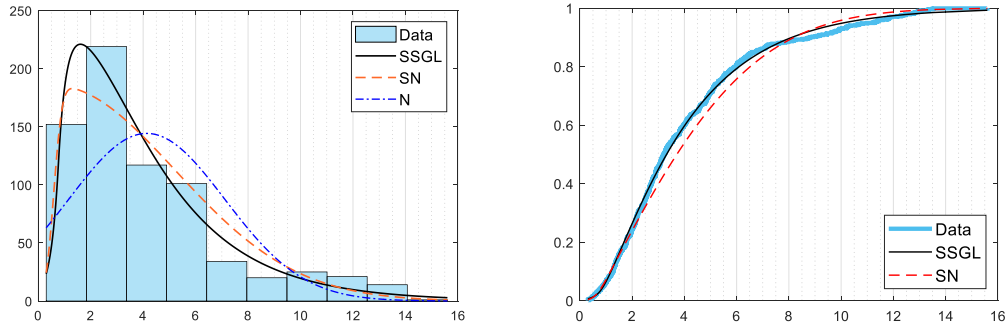


Figure 3. Histogram of wind speed data with fitted densities (left), empirical cdf and fitted cdf (right).

Examining Table 3, we find that the KS test does not accept the goodness of fit of the SN and N distributions, but the SSGL distribution is reasonable. AIC and BIC values also show that the SSGL distribution provides a better fit.

Table 3. Summary of fits for wind speed data set.

| | $\hat{\mu}$ | $\hat{\sigma}$ | $\hat{\lambda}$ | -LH | KS (p) | AIC | BIC |
|------|-------------|----------------|-----------------|----------|---------------|----------|----------|
| SSGL | 0.770 | 4.547 | 15.720 | 1607.526 | 0.0274 (0.65) | 3221.052 | 3234.723 |
| SN | 0.591 | 4.631 | 18.140 | 1616.539 | 0.0768 (0.00) | 3239.078 | 3252.748 |
| N | 4.138 | 2.979 | - | 1766.838 | 0.1299 (0.00) | 3537.676 | 3546.789 |
| | Mean | Std.Dev. | Skewness | Kurtosis | Q1 | Median | Q3 |
| SSGL | 4.128 | 3.066 | 1.759 | 7.849 | 1.934 | 3.321 | 5.444 |
| SN | 4.280 | 2.799 | 0.983 | 3.855 | 2.219 | 3.836 | 6.000 |
| Data | 4.138 | 2.979 | 1.340 | 4.363 | 2.034 | 3.225 | 5.338 |

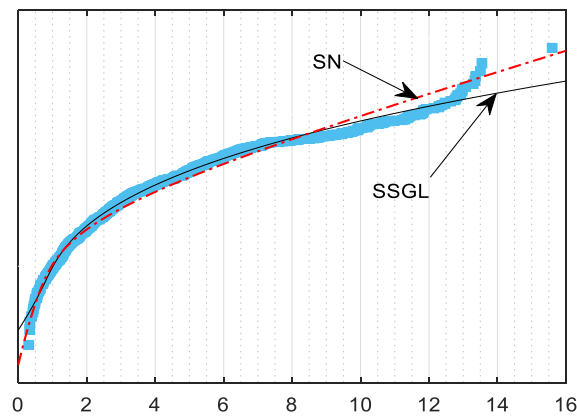


Figure 4. Probability plot for wind speed data.

Table 3 also includes some statistics of wind speed data. If the theoretical values of these statistics calculated with the estimated parameters for the SSGL and SN distributions are examined, one sees that the mean and standard deviation values of wind speed are more accurately estimated by SSGL. The same may be said for the first quartile (Q1), median, and third quartile (Q3). When we examine Figure 3 and Figure 4, it is seen that SSGL fits better than SN in most of the empirical distribution. At the end of the right tail, the SN distribution provides a better fit than SSGL distribution. This explains why the skewness of the data is better predicted by SN.

5. Conclusion

In this study, we derived a new skew-symmetric model called SSGL to model skewed data. The closed-form pdf and cdf of the resulting distribution were obtained in the study. Furthermore, statistically significant features of the distribution, such as raw moments, skewness and kurtosis coefficients, and Shannon entropy, have been investigated. In addition, maximum likelihood estimators for unknown parameters of the new distribution were studied. The performance of these estimators in the study was also compared to a series of Monte Carlo simulation studies that had been performed. Given the information obtained from the simulation study, it can be said that all obtained estimators of the SSGL parameters are asymptotically consistent and unbiased. Finally, the usability of the derived distribution has been exemplified by applications performed on two real-world datasets. In both samples, the SSGL distribution provides a better fit than Azzalini's SN distribution. As a result of this study, it was concluded that the SSGL distribution is a suitable alternative for modeling skewed data, especially with the help of computer programs.

Acknowledgments

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Abramowitz, M., Stegun, I. A. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. US Government printing office, New York 1964.
- Altun E. The generalized Gudermannian distribution: inference and volatility modelling. *Statistics* 2019; 53(2): 364–386.
- Arellano-Valle RB., Gómez HW., Quintana FA. A new class of skew-normal distributions. *Communications in statistics-Theory and Methods* 2004; 33(7): 1465–1480.
- Azzalini A. A class of distributions which includes the normal ones. *Scandinavian journal of statistics* 1985; 171–178.
- Dutka, J. (1981). The incomplete Beta function-a historical profile. *Archive for history of exact sciences* 1981; 24(1): 11–29.

- Edwards, H. M. Riemann's zeta function. Courier Corporation, New York 2001.
- Elal-Olivero D. Alpha-skew-normal distribution. *Proyecciones Antofagasta* 2010; 29(3): 224–240.
- Gupta R., Kundu D. Introduction of shape/skewness parameter(s) in a probability distribution. *J Probab Stat Sci* 2009; 7.
- Hasanalipour P., Sharafi M. A new generalized Balakrishnan skew-normal distribution. *Statistical Papers* 2012; 53(1): 219–228.
- Jamalizadeh A., Behboodian J., Balakrishnan N. A two-parameter generalized skew-normal distribution. *Statistics & probability letters* 2008; 78(13): 1722–1726.
- Ma Y., Genton MG. Flexible class of skew-symmetric distributions. *Scandinavian Journal of Statistics* 2004; 31(3): 459–468.
- Nekoukhou V., Alamatsaz MH., Aghajani AH. A flexible skew-generalized normal distribution. *Communications in Statistics-Theory and Methods* 2013; 42(13): 2324–2334.
- Telford, R. D., Cunningham, R. B. Sex, sport, and body-size dependency of hematology in highly trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise* 1991; 23: 788–794.

Destekleyici Elektrolitin, Süperkapasitör için Elektrokimyasal Biriktirilmiş PEDOT/ERGO Elektrotlarının Kapasitans ve Empedans Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Tolga KARAZEHİR^{1*}

¹ Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistem Mühendisliği Bölümü ,
01250 Sarıçam, Adana, Türkiye

¹ <https://orcid.org/0000-0002-2795-3675>

* Corresponding author: tkarazehir@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.12.2022

Kabul tarihi: 05.02.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Poli(3,4-etilendioksitiyofen)

Grafen

Süperkapasitör

Bu çalışmada, süperkapasitörler için Poli(3,4-etilendioksitiyofen)/elektrokimyasal olarak indirgenmiş grafen oksit (PEDOT/ERGO) elektrotların enerji depolama yetenekleri incelenmiştir. PEDOT/ERGO elektrotları, grafen oksidin elektrokimyasal olarak indirgenmesini içeren iki aşamalı basit bir elektrokimyasal yöntem kullanılarak ve ardından PEDOT, farklı elektrolit çözeltilerinde ERGO üzerine elektrokimyasal olarak biriktirilerek üretildi. 0,1 M lityum perklorat/asetonitril ($\text{LiClO}_4/\text{ACN}$), tetraetilamonyum tetrafloroborat/asetonitril ($\text{Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$) ve tetrabütillamonyum hekzaflorofosfat/asetonitril ($\text{Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$) dâhil olmak üzere farklı elektrolit sistemlerinde üretilen PEDOT/ERGO elektrotlarının, döngüsel voltametri (DV), galvanostatik yüklenme boşalma testi (GYB) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EES) gibi elektrokimyasal teknikler PEDOT/ERGO elektrotlarının elektrokimyasal özelliklerini araştırmak için kullanıldı. Elektrolit tipinin elektrokimyasal sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi vardır. $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$ 'de üretilen PEDOT/ERGO, yüksek spesifik kapasitans (C_{sp}) ve düşük yük transfer direnci (R_{ct}) gösterdi. Sonuçlara göre spesifik kapasitans değerleri şu sırayla azalmaktadır; LiClO_4 için 26,48 mFcm^{-2} , Et_4NBF_4 için 20,58 mFcm^{-2} , Bu_4NPF_6 için 8,96 mFcm^{-2} .

Effect of Supporting Electrolyte on Capacitance and Impedance Properties of Electrodeposited PEDOT/ERGO Electrodes for Supercapacitor

Research Article

Article History:

Received: 12.12.2022

Accepted: 05.02.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)

Graphene

Supercapacitor

ABSTRACT

In this study, the ability of Poly (3,4-ethylenedioxythiophene)/electrochemically reduced graphene oxide (PEDOT/ERGO) electrodes for supercapacitors to store electrical energy is studied. PEDOT/ERGO electrodes are produced using a simple two-step electrochemical method that involves electrochemically reduction of graphene oxide, and then PEDOT is electrochemically deposited onto the ERGO in different electrolyte solutions. Electrochemical techniques such as cyclic voltammetry (CV), galvanostatic charge discharge (GCD), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) are utilized to investigate the electrochemical characteristics of PEDOT/ERGO electrodes produced in different electrolyte systems including 0.1 M lithium

perchloride/acetonitrile (LiClO₄/ACN), tetraethylammoniumtetrafluoroborate/acetonitrile (Et₄NBF₄/ACN), and tetrabutylammonium hexafluorophosphate/acetonitrile (Bu₄NPF₆/ACN). The electrolyte type has a significant impact on electrochemical results. PEDOT/ERGO manufactured in LiClO₄/ACN demonstrates a high specific capacitance (C_{sp}) and low charge transfer resistance (R_{ct}). According to results, the C_{sp} value is decreased in the following order; 26.48 mFcm⁻² for LiClO₄, 20.58 mFcm⁻² for Et₄NBF₄, 8.96 mFcm⁻² for Bu₄NPF₆.

To Cite: Karazehir T. Effect of Supporting Electrolyte on Capacitance and Impedance Properties of Electrodeposited PEDOT/ERGO Electrodes for Supercapacitor. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 854-872.

1. Introduction

Clean and sustainable energy is required due to the limitations of energy produced from renewable sources and the contamination of the air by the usage of fossil fuels. To solve this problem, renewable energy sources like solar and wind have been the focus of scientific investigation into the development of innovative technologies for the effective conversion and storage device (Albadi and El-Saadany, 2010; Safari, 2011; Meroni, et al. 2018). Using solar energy is unquestionably the better option. To convert solar energy into electricity, a variety of solar cells, including perovskite, dye-sensitized, and silicon cells have been used. Important factors include storing power from multiple sources and guaranteeing the regularity, viability, and dependability of energy networks (Ranjan, et al., 2011; Liu, et al., 2013; Hu, et al., 2016). Many energy storage systems continue to fall below the required criteria and efficiency for acquiring energy storage. Hybrid electric vehicles (HEVs) are unquestionably green technology automobiles for the future, and will aid in the reduction of conventional fuel usage (Nelson, 2000; Cairns and Albertus, 2010). The high power and energy density energy storage devices, such as supercapacitors and high-capacity batteries are best candidate for HEVs based transport systems (Smith, et al., 2002; Su, 2014). Although Batteries have the highest energy densities of the two storage alternatives, they have also the disadvantages of poor power density and cycle stability. Supercapacitors, however, have a low energy density while having a high power density and cyclic stability. This indicates that none of these two energy storage systems can, by itself, satisfy their respective needs for high energy and power density capacity and cycle stability (Xu and Zhou, 2015; Choudhary, et al., 2020). In contrast to batteries, supercapacitors store electrical charge in electrical double layers that develop at the interface of the electrode and electrolyte. They are now used in industrial energy/power management systems, consumer electronics, and memory backup systems. (Bang, et al. 2013; Huet, et al., 2022; Landers, et al. 2022). Some of the most important characteristics of an electrode material for a high-performance supercapacitor are its conductivity, distribution of optimal pore size, ease of production, specific surface area, corrosion resistance, and affordability (Naoi, et al., 2013; Yang, et al., 2015; Wang, et al., 2017; Wang, et al., 2018). Hence, establishing supercapacitors as more effective energy storage devices than batteries requires careful consideration of electrode materials and optimizing their design. The extended cycle life of supercapacitors, high

power density, low charging time, and safety have made them more popular during the last decade. Electrochemical double layer capacitance (EDLC) and pseudocapacitance are the two most common energy storage processes in supercapacitors; EDLC stores energy by ion accumulation, whereas pseudocapacitance stores energy through a surface redox reaction (Jiang, et al., 2013; Hashim, et al., 2017). All conducting polymers rely on a faradic charge storage mechanism to perform their function, giving rise to capacitance names as pseudocapacitance (Wang, et al., 2017). A pseudocapacitor typically stores more charges than EDLC due to the most of the charge storage via faradaic redox reaction (Snook, et al. 2011). Therefore, conducting polymers use in supercapacitors due to high stability with high pseudocapacitance, and easy synthesis (Vonlanthen, et al., 2014; Athira, et al., 2017; Wang, et al., 2017). In addition, conducting polymers have a low band gap (1-3 eV). They are quickly doped and undoped and have a good surface structure and rapid charge kinetics (Ryu, et al., 2004). Conducting polymers have plastic qualities and may therefore be readily manufactured, particularly as thin films (Arbizzani, et al., 1996). Significant research has been conducted on the manufacture of a poly(3,4-ethylene dioxidethiophene) (PEDOT) based nanocomposite as an important conducting polymer type, as well as its use as an active material for electrochemical supercapacitors (Ryu, et al., 2004; Sonia, et al., 2013; Ahmed and Rafat, 2018; Hu, et al., 2019). Studies have shown that PEDOT is much more stable than competing conducting polymers. There is growing interest in using it in supercapacitors and electrochromic devices, and it looks to be among the best stable conducting polymers presently available (Murugan, et al., 2006). Due to their great surface area and outstanding electrical and chemical characteristics, carbon-based electrodes are widely employed to build conducting polymer/carbon based composite for energy storage device (Liu, et al., 2017; Huang, et al., 2019; Wang, et al., 2021).

In this research, electrochemically reduced graphene oxide (ERGO) was generated by reducing graphene oxide. PEDOT was synthesized onto the ERGO-modified glassy carbon electrode in different electrolyte environments ($\text{Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, $\text{Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, and $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$) to investigate the effect of electrolyte type on the charge storage performance of the obtained PEDOT/ERGO. The findings showed that electrolyte type had a significant effect on capacitance of produced PEDOT/ERGO electrodes. The PEDOT/ERGO electrode doped with a ClO_4^- anion had the greatest specific capacitance.

2. Material and Methods

3,4-ethylenedioxythiophene (EDOT), tetraethylammonium tetrafluoroborate (Et_4NBF_4 , 99%), tetrabutylammonium hexafluorophosphate (Bu_4NPF_6 , 99%), lithium perchlorate (LiClO_4 , 99%) acetonitrile (ACN, anhydrous, 99,8%), sodium phosphate monobasic (NaH_2PO_4) and sodium phosphate dibasic (Na_2HPO_4) were purchased from Sigma Aldrich and used as received. Graphene oxide (GO) was also purchased from Sigma Aldrich. An IviumStat potentiostat/galvanostat was used for all of the electrochemical tests. The GCE (3 mm diameter) was prepared for the tests by first being

polished with 0.05 m alumina suspension, then sonicated in acetone and doubly distilled water, and then dried at ambient temperature. Two hours of ultrasonic exfoliation of commercial GO powder in deionized water yielded a GO aqueous solution (1.0 mgmL^{-1}). The GO film was prepared by drop-casting $8 \mu\text{L}$ of GO suspension solution (1.0 mgmL^{-1}) over the surface of pre-cleaned GCE and letting it cure under an IR light for 15 minutes. Electrochemical reduction of GO film was performed by cyclic voltammetry. GO was electrochemically reduced to ERGO a using cyclic voltammetry in the potential range $0-(-1.5) \text{ V}$ in N_2 saturated 0.1 M Phosphate Buffered Saline (PBS pH 7) solution for 15 consecutive cycles at a scan rate of 0.05 Vs^{-1} . PEDOT/ERGO/GCE electrode was prepared by the polymerization of EDOT ($[\text{EDOT}]_0=10 \text{ mM}$) in three-electrode cell configuration using ERGO/GCE as a working electrode, Pt wire as counter electrode, and Ag/AgCl ($3,5 \text{ M KCl}$) electrode as a reference electrode via cyclic voltammetry in three different electrolytes $0.1 \text{ M Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, $\text{Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$ for 10 successive cycles in the potential range from -1.0 to 1.5 V at a scan rate of 0.1 Vs^{-1} . The EIS measurements at OCP were taken with an AC signal amplitude of 10 mV and a frequency range of 10 mHz to 100 kHz . Between 400 and 4000 cm^{-1} , PEDOT/ERGO structures were examined using Fourier-transform infrared attenuated total reflectance spectroscopy (FTIR-ATR; Bruker Vertex 70 ATR). The Quanta FEG 250 microscope was used for scanning electron microscopy (SEM) imaging research.

3. Results and Discussions

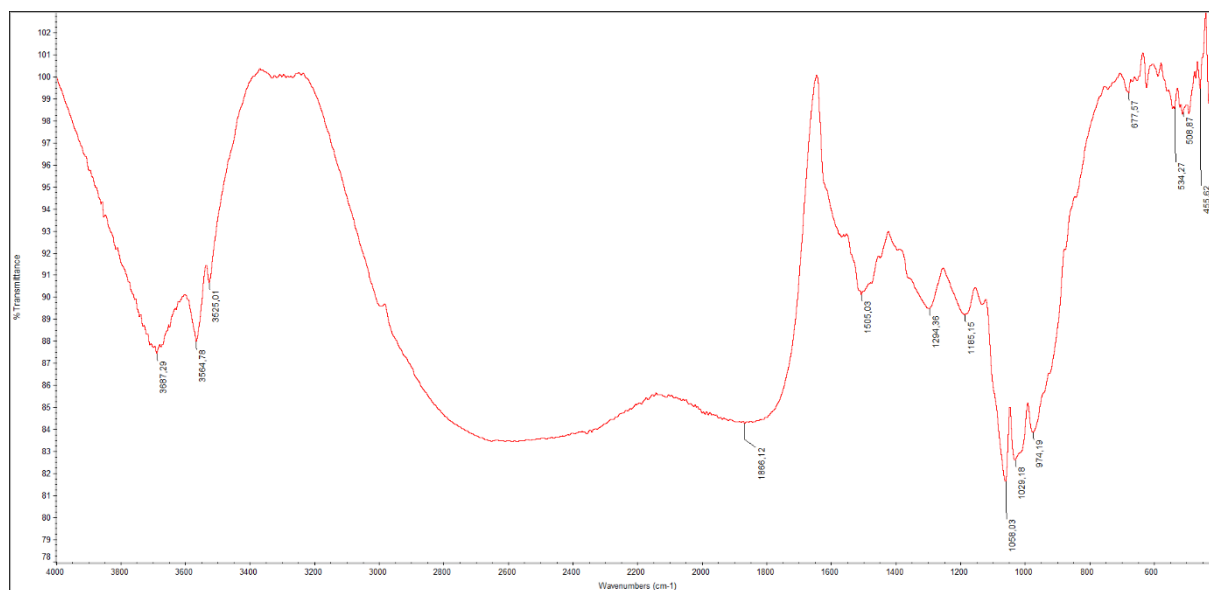


Figure 1. FTIR-ATR spectrum of PEDOT/ERGO prepared in $0.1 \text{ M LiClO}_4/\text{ACN}$

FTIR spectroscopic measurement was given in Figure 1. The vibrational bands at 1555 cm^{-1} and 1294 cm^{-1} in the FTIR spectrum of PEDOT are ascribed to the $\text{C}=\text{C}$ and $\text{C}-\text{C}$ stretching vibrations of the quinonoid structure and thiophene rings, respectively. The $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ bending vibration in the ethylenedioxy group corresponds to the bands at 1185 , 1058 , and 1029 cm^{-1} . It is observed that the $\text{C}-$

S stretching vibration in thiophene rings is responsible for the bands at 974 and 677 cm^{-1} , corroborating the formation of PEDOT network.

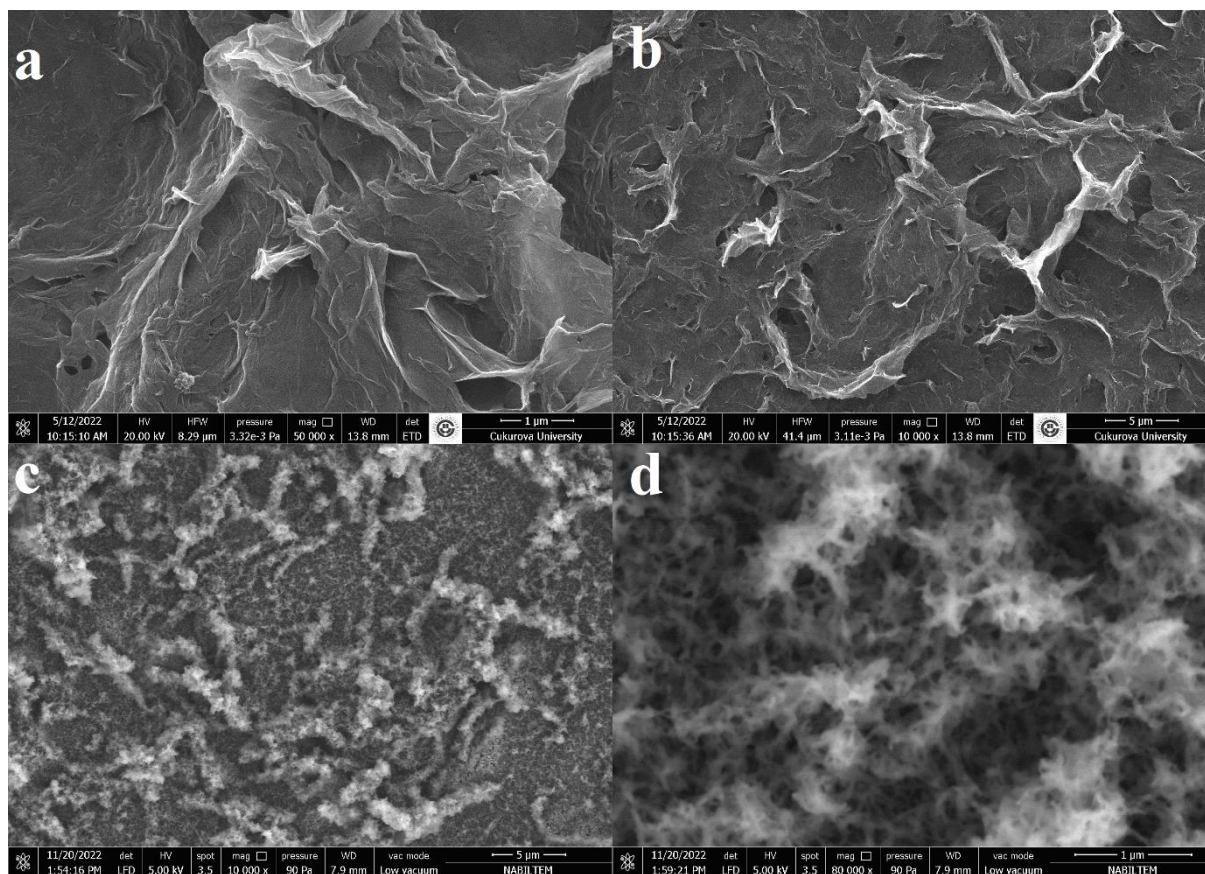


Figure 2. SEM images of ERGO given in different magnifications (a and b), PEDOT/ERGO prepared in 0.1 M $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$ given in different magnification (c and d).

Figures 2a and 2b display the ERGO SEM picture at various magnifications. The surface structures of ERGO presents a uniformly wavy and wrinkled sheet structure. Figures 2c and d show electro-coated PEDOT prepared in 0,1 M $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$ presenting rough and porous network PEDOT architectures indicating the surface of ERGO homogeneously covered by PEDOT.

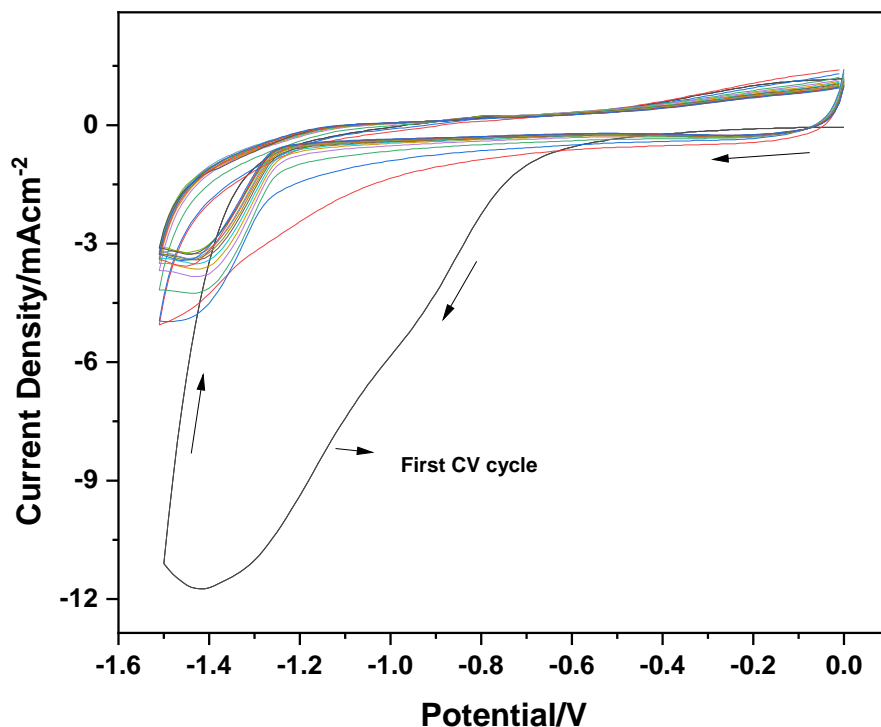


Figure 3. Cyclic voltammograms of GO/GCE electrode in 0.1 M pH=7.0 phosphate buffer saline performed at a scan rate of 50 mV/s subjected to 15 cycles in the potential range from 0 to -1.5 V.

GO is not conductive to electricity because of the high concentration of oxygen functions on the carbon's basal planes (Toh, et al., 2014). In order to make GO electrically conductive, the material must first be deoxygenated via an electrochemical process. Using a scan rate of 50 mVs⁻¹ in a 0.1 M pH = 7.0 PBS solution, GO was electrochemically reduced by cycling through a potential range of 0 to -1.5 V during 15 consecutive cycle (Figure 3). After 15 cycles of the first cathodic scan, it is determined that, a drop in oxygen moieties at the GO basal plane is responsible for a considerable decrease in the current density of a huge cathodic peak centered at -1.4 V.

Three different electrolyte solutions (0.1M Et₄NBF₄/ACN, Bu₄NPF₆/ACN, and LiClO₄/ACN) containing 10 mM EDOT were used to electrodeposit the PEDOT onto ERGO/GCE. Figure 4 depicts the effect of electrolyte on electrochemical polymerization of PEDOT deposited on ERGO/GCE. The sequence of PF₆⁻ > ClO₄⁻ > BF₄⁻ determines the PEDOT polymerization behavior, which is dependent on the electrolyte type. The kind of anion has an impact on the polymerization effectiveness, which is consistent with polymerization of thiophene (Schrebler, et al., 1997). The increased integral area for the PF₆⁻ anion is an indicative of a rise in oligomer formation, therefore, more polymerization efficiency. Therefore, an increased current density is observed in the case of the PF₆⁻ anion when compared to the BF₄⁻ and ClO₄⁻ anions, attributed to the stronger alkaline nature of PF₆⁻ anion,

facilitating the loss of H^+ during the polymerization process. (Sarac, et al., 2022). EDOT oxidation in 0.1 M Bu_4NPF_6 , $LiClO_4$, Et_4NBF_4/ACN began at 1.34, 1.30, and 1.25 V, respectively, which supposes that the oxidation of EDOT monomer in various electrolyte systems differs significantly. On ERGO/GCE electrode, cyclic voltammograms of 10 mM initial monomer concentration of EDOT show that current density increased with each cycle, with anodic peak (E_{pa}) = 0.17 V, cathodic peak (E_{pc}) = -0.54 V for Bu_4NPF_6 , E_{pa} = 0.22 V, E_{pc} = -0.51 V for Et_4NBF_4 , E_{pa} = 0.19 V, and V, E_{pc} = -0.28 V for $LiClO_4$. Figure 4b compares the PEDOT prepared in Et_4NBF_4/ACN without ERGO. ERGO may improve the diffusion of ions from the electrolyte by getting access to virtually all existing holes on the electrode, resulting in greater polymerization efficiency than PEDOT deposited on GCE without ERGO (El-Hallag, et al., 2019). As seen from Figure 4 b, polymerization efficiency of PEDOT deposited on GCE is lower than that of PEDOT deposited on ERGO/GCE.

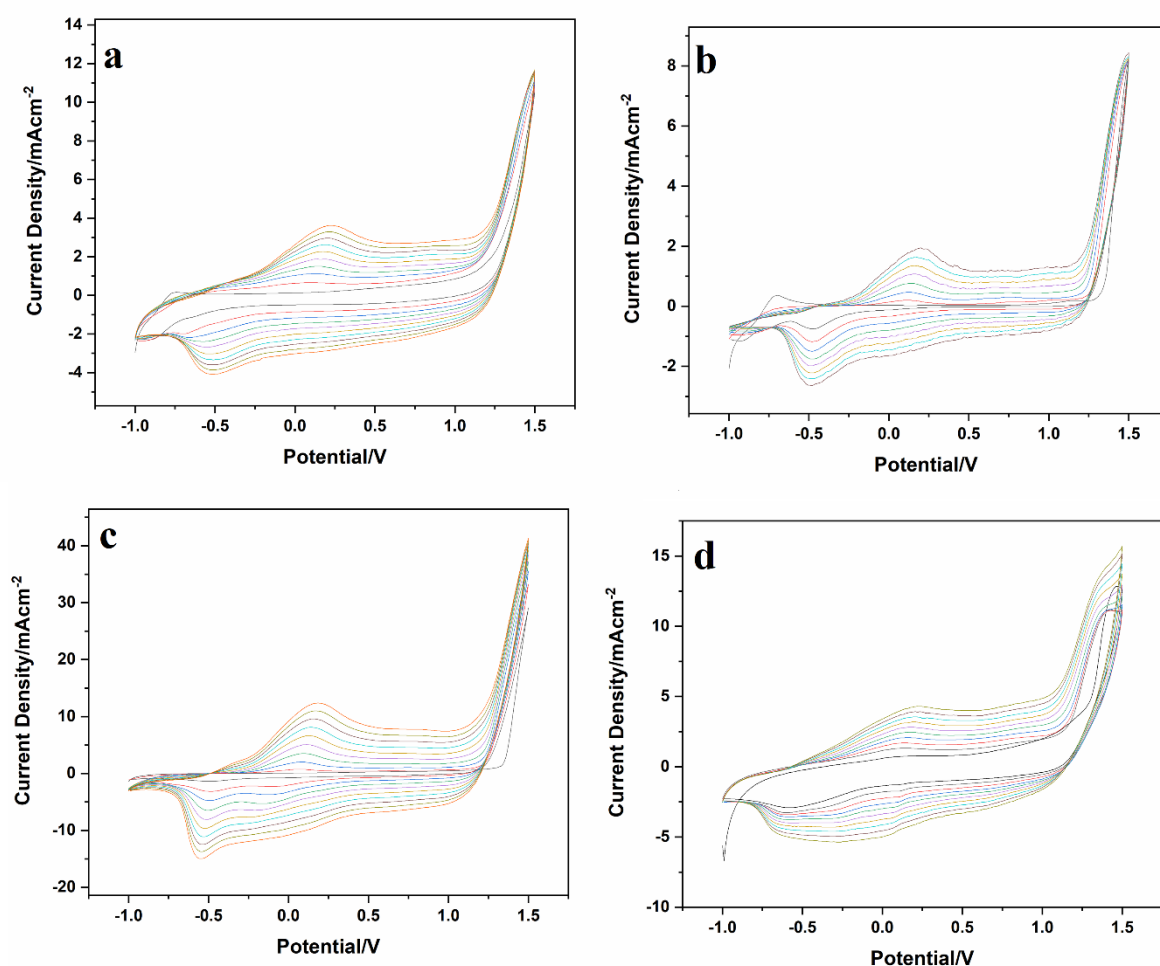


Figure 4. Cyclic voltammograms of growth of PEDOT on ERGO/GCE electrodes in (a) 0.1 M Et_4NBF_4/ACN , (b) cyclic voltammograms of growth of without ERGO on GCE in 0.1 M Et_4NBF_4/ACN , (c) 0.1 M Bu_4NPF_6/ACN , (d) 0.1 M $LiClO_4/ACN$ at a scan rate of 100 mV/s subjected to 10 cycles in the potential range from -1.0 to 1.5 V.

Figures 5 a-c show cyclic voltammograms of PEDOT/ERGO in various electrolytes at scan rates between 10 mVs^{-1} and 100 mVs^{-1} in $0.1\text{M Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, $\text{Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, and $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$. Because of how polarization and diffusion work together, the shape of the CV waveform changes depending on the type of electrolyte. This suggests that the process is irreversible and very complicated. Differences in peak potential (E_p) are not minor, and they are caused by the behavior of electrolyte ion diffusion. (Karazehir, et al., 2021). The peak potential should be independent of the scan rate if diffusion is the main factor influencing a redox process. In order to learn more about the capacitive behavior of PEDOT/ERGO, a CV research was carried out at different scan speeds. The shapes of CV show a both rectangular box characteristic and pseudocapacitive characteristic due to faradaic reaction of PEDOT. Anodic and cathodic redox peaks in cyclic voltammogram are clearly observed, that typically arises from pseudo type capacitive behavior of PEDOT, located at $E_{pa}=-0.58 \text{ V}$, $E_{pc}=-0.74 \text{ V}$ for Bu_4NPF_6 , $E_{pa}=0.3 \text{ V}$, $E_{pc}=-0.5 \text{ V}$ for Et_4NBF_4 , and $E_{pa}=0.1 \text{ V}$, $E_{pc}=-0.58 \text{ V}$ for LiClO_4 , where positive shift observed at anodic oxidation peak potential of PEDOT following order Bu_4NPF_6 , Et_4NBF_4 , LiClO_4 . The peak currents (I_p) against the square root of the scan rate (Figure 5d) are used to characterize the scan rate dependence of the polymer-coated electrodes. Thus, the polymers show a good correlation coefficient (R between 0.99 and 0.95) between I_p and the square root of the scan rate, suggesting a diffusion-limited process.

The Randles–Sevcik equation at room temperature is given as:

$$i_p = 268600n^{3/2}ACD^{1/2} \nu^{1/2} \quad (1)$$

Here i_p (A) is the maximum current density, the number of electrons n ($=1$) transferred in the redox reaction, A the electrode area (0.07 cm^2), D (cm^2s^{-1}) the diffusion coefficient, C the concentration of the diffusing species (molcm^{-3}), and ν (Vs^{-1}) the scan rate. Diffusion coefficient of electrolytes from anodic lines can be determined slope of graph given in Figure 5d. The diffusion coefficient is calculated to be $1.27 \times 10^{-4} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ for LiClO_4 , $9.84 \times 10^{-5} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ for Et_4NBF_4 , and $8.23 \times 10^{-5} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ for Bu_4NPF_6 .

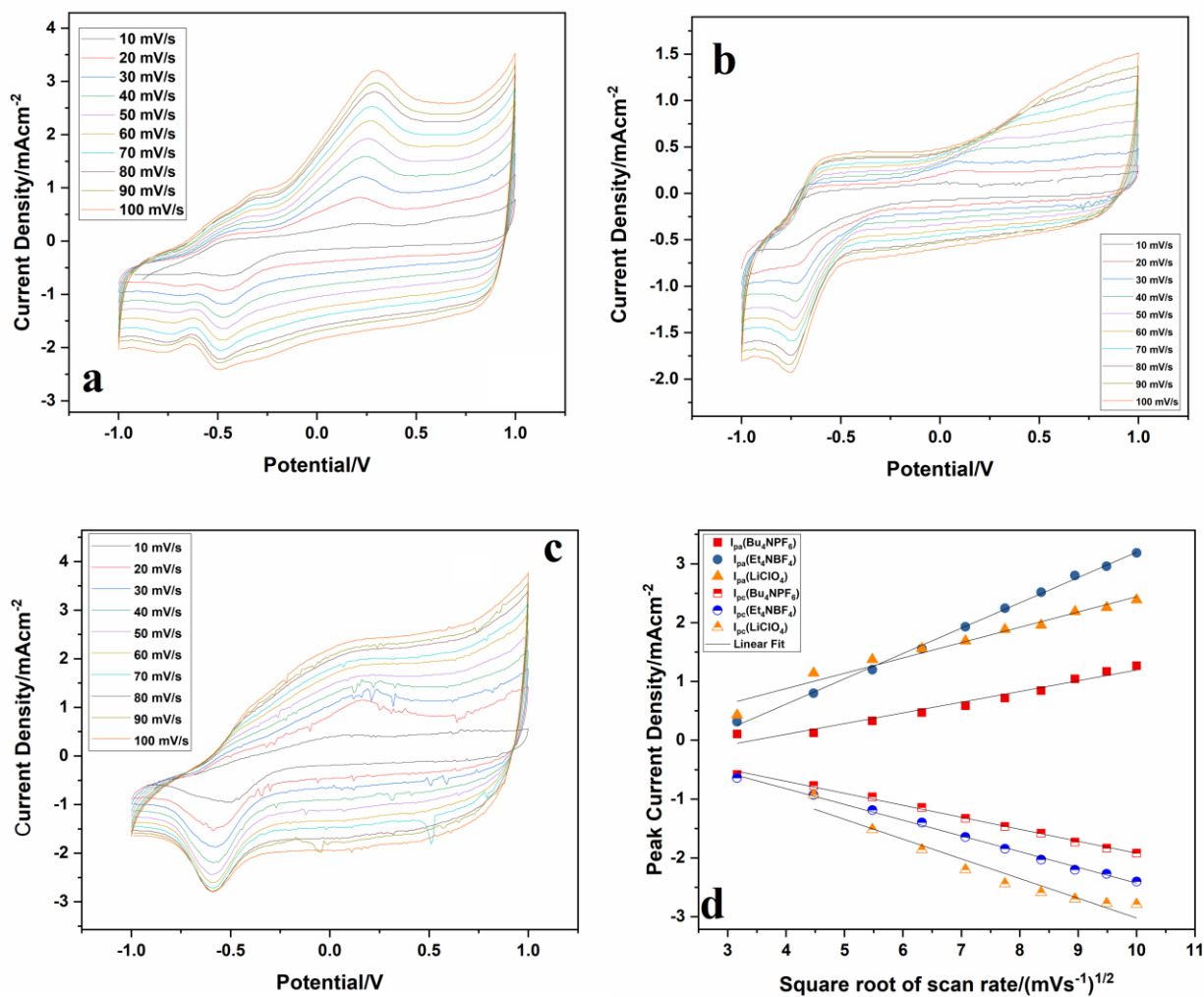


Figure 5. Cyclic voltammograms of PEDOT/ERGO in (a) 0.1 M $\text{Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, (b) 0.1 $\text{Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, 0.1 M $\text{LiClO}_4/\text{ACN}$, at various scan rates from 10 mVs^{-1} to 100 mVs^{-1} , (d) the square root of scan rates vs peak current density.

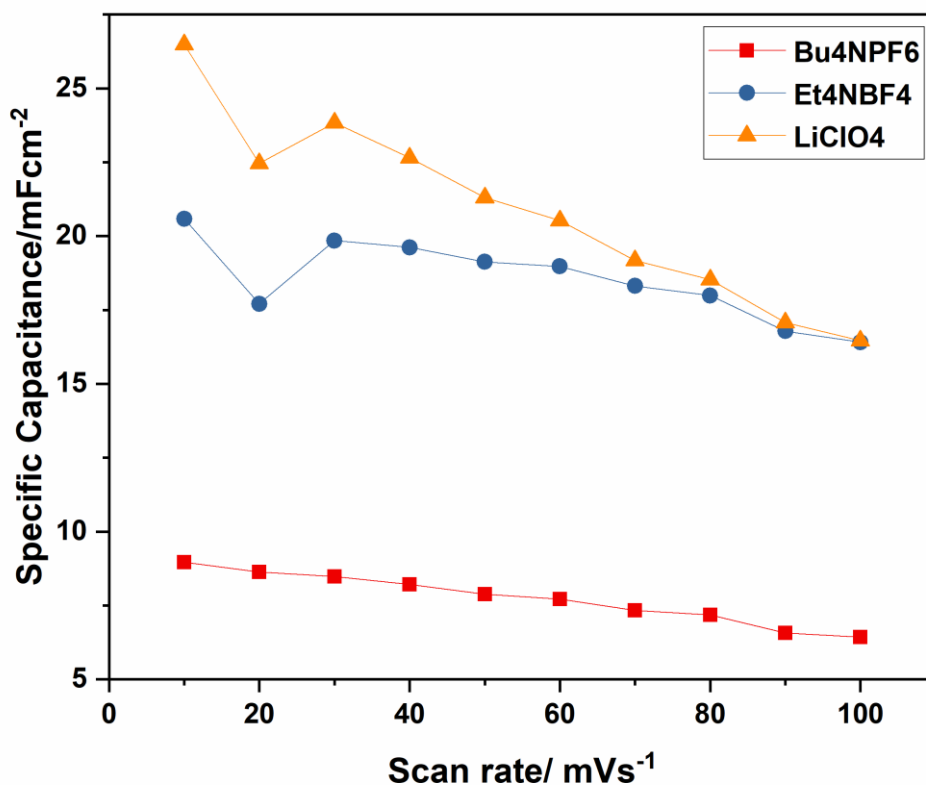


Figure 6. C_{sp} of PEDOT/ERGO at different scan rates and in different electrolyte solutions.

The specific capacitance (C_{sp}) value of the PEDOT/ERGO electrodes were estimated from CV data according to Eqn. 2

$$C_{sp} = \frac{\int idv}{2As\Delta V} \quad (2)$$

where, $\int idv$ is the entire integral area of the CV curve, A is the geometric area of electrode (cm^2), s is the scan rate (Vs^{-1}), and ΔV is the applied potential window (V) of the CV curve. Figure 6 shows the plot of scan rate vs. C_{sp} of PEDOT/ERGO coated GCE prepared in different electrolyte solutions. C_{sp} values drop as the scan rate increases. A drop in C_{sp} may be related to the inability of electrolyte ions to permeate entirely through surface of the electrode at faster scan speeds, since the electrolyte ions can only reach the outermost layers of the electrode (Ismar, et al., 2018). C_{sp} for PEDOT/ERGO increases in the following order Bu_4NPF_6 , Et_4NBF_4 and LiClO_4 . Lower scan speeds are more advantageous for larger store capacity. At low scan rates of 10 mVs^{-1} , the maximum specific capacitance (C_{sp}) of the PEDOT/ERGO electrode is estimated to be 8.96 mFcm^{-2} for $0.1 \text{ M Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, 20.58 mFcm^{-2} for $0.1 \text{ M Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, and 26.48 mFcm^{-2} for $0.1 \text{ M LiClO}_4/\text{ACN}$. The C_{sp} found for PEDOT/ERGO prepared in $0.1 \text{ M LiClO}_4/\text{ACN}$ is significantly greater than the areal capacitance values published for various nanostructured electrode systems for supercapacitors

such as CdSe-8h (1.285 mFcm⁻² at 10 mVs⁻¹) (Pawar, et al., 2017), α -Co(OH)₂/f-GNS (2.108 mFcm⁻² at 10 mVs⁻¹) (Jin, et al., 2017), TiO₂ nanotube array (Ar-S1) (13.26 mFcm⁻² at 20 mVs⁻¹) (Raj et al., 2020), and on the other hand, the areal capacitance values reported here are comparable to that of r-TNAS (24.07 mFcm⁻² at 10 mVs⁻¹) (Li et al., 2015).

Galvanostatic charge and discharge test (GCD) was applied to determine the specific capacitance, as well. C_{sp} was calculated according to eqn 3.

$$C_{sp} = \frac{I\Delta t}{\Delta V A} \quad (3)$$

where, I is the applied current (A), Δt is the discharge time (s), ΔV is the applied potential window (V) of the GCD curve and A is the geometric area of electrode (cm²). Figures 7 a-c show the GCD curves of prepared PEDOT/ERGO electrodes in various electrolytes. As seen from Figures 7 a-c, The C_{sp} decreases with increasing current density. GCD curve correlates the voltametric measurements, where the highest C_{sp} obtained for PEDOT/ERGO film prepared in 0.1 M LiClO₄/ACN. The maximum C_{sp} of the PEDOT/ERGO electrode at 0.1 mAcm⁻² is calculated to be 6.1 mFcm⁻² for 0.1 M Bu₄NPF₆/ACN, 17.5 mFcm⁻² for 0.1 M Et₄NBF₄/ACN, and 22.2 mFcm⁻² for 0.1 M LiClO₄/ACN (Figure 7 d).

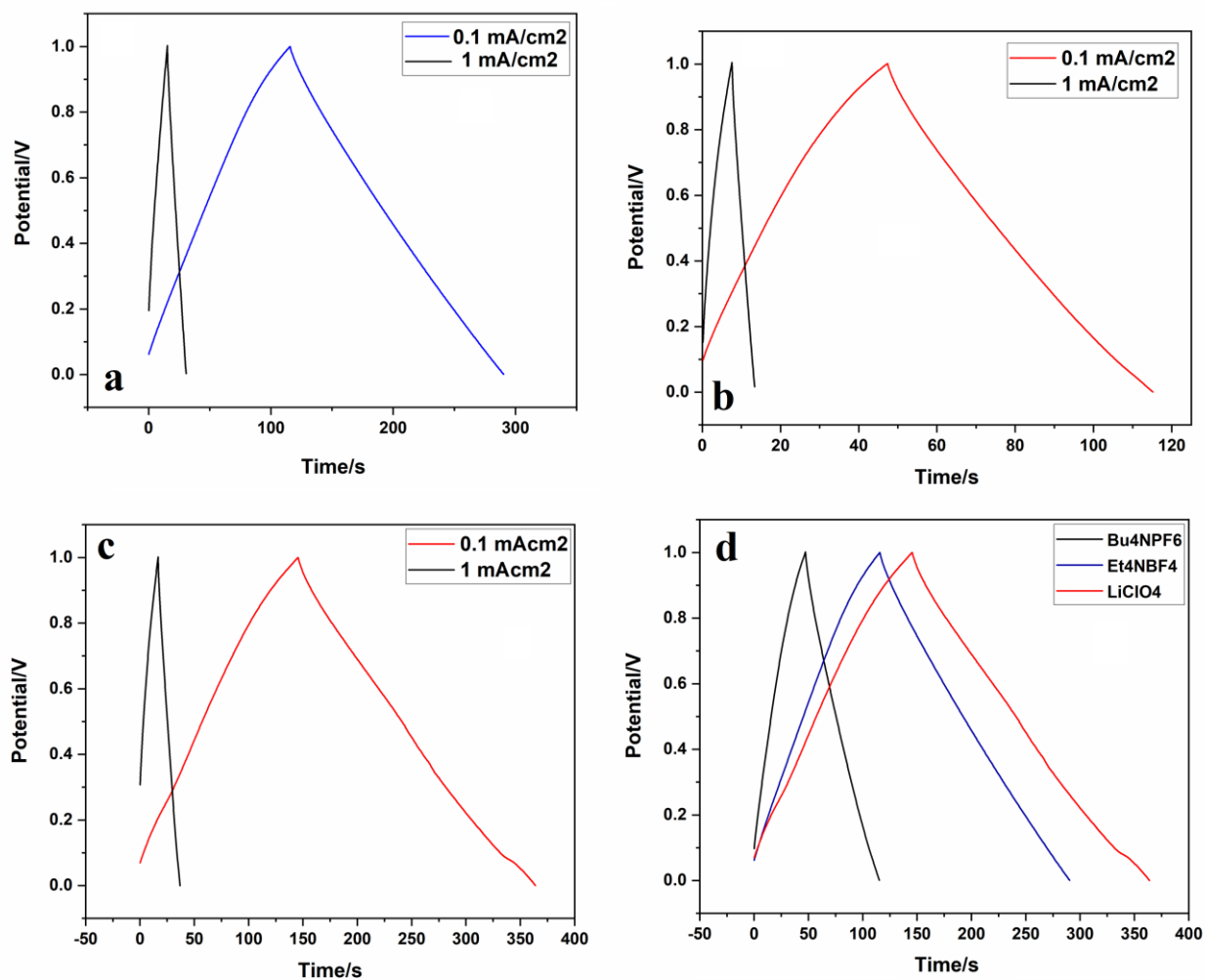


Figure 7. Galvanostatic charge discharge (GCD) curve with respect to two different current densities (0.1 mAcm^{-2} and 1 mAcm^{-2}) PEDOT/ERGO electrodes in (a) $0.1 \text{ M Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, (b) $0.1 \text{ M Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, (c) $0.1 \text{ M LiClO}_4/\text{ACN}$, (d) comparison of GCD of PEDOT/ERGO electrodes at a fixed 0.1 mAcm^{-2} in $0.1 \text{ M Bu}_4\text{NPF}_6/\text{ACN}$, $0.1 \text{ M Et}_4\text{NBF}_4/\text{ACN}$, and $0.1 \text{ M LiClO}_4/\text{ACN}$.

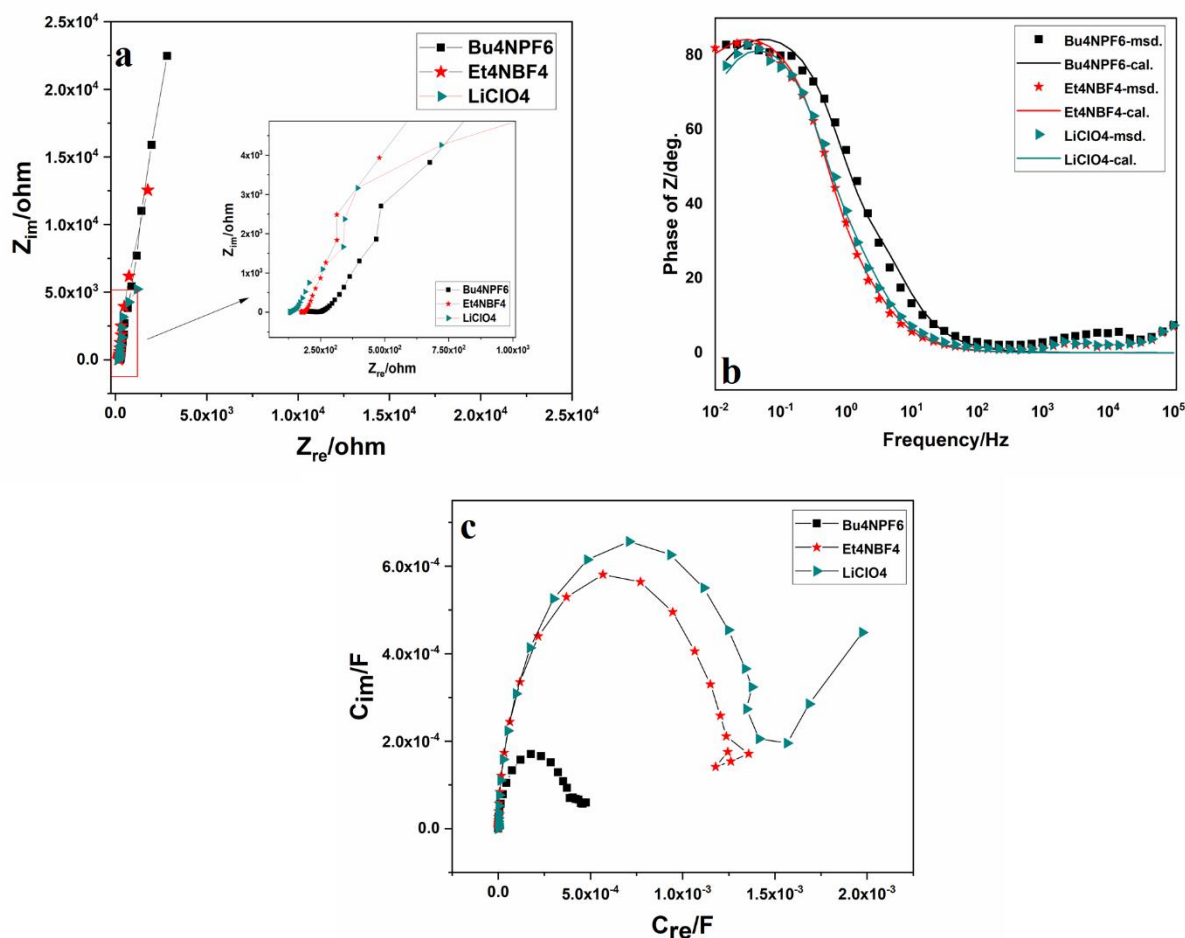


Figure 8 (a) Nyquist plots of PEDOT/ERGO electrodes, (b) Bode phase plots of PEDOT/ERGO electrodes, solid lines show calculated impedance data according to $R(C(R(CR)))$ equivalent circuit, and (c) complex capacitance plots of PEDOT/ERGO electrodes.

Additionally, an EIS was conducted to examine the capacitive properties of the PEDOT/ERGO electrodes. Figure 8a presents the Nyquist plots for three distinct electrolytes. In the high-frequency range, solution resistance (R_s), also known as equivalent series resistance (ESR), is generated by the intercept at the real section of the axis. As the slope of the line in the low-frequency domain increases, the electrodes of a supercapacitor approach their optimal behavior. However, the deviation of nonideal capacitance behavior is shown by a line that is tilted (at an angle less than 90 degrees) toward the real axis. Figure 8b presents the Bode phase plots of PEDOT/ERGO electrodes. The phase angle at 0.01 Hz for the PEDOT/ERGO electrode is attained at 82.81° for Bu_4NPF_6 , 81.96° for Et_4NBF_4 , and 77.20° for $LiClO_4$, indicating a deviation from ideal capacitive behavior evident with CV measurements due to the lack of an ideal rectangular CV shape. Experimental impedance data can be represented as complex capacitance plot for a more insightful depiction. Figure 8c shows the complex capacitance plots of PEDOT/ERGO electrodes in three different electrolytes. The real capacitance (C_{re}) for PEDOT/ERGO electrodes at a low frequency of 10 mHz is observed to be 28.14 mFcm^{-2} for $LiClO_4$,

17.86 mFcm⁻² for Et₄NBF₄, and 6.77 mFcm⁻² for Bu₄NPF₆, corroborating the voltametric and GCD measurements.

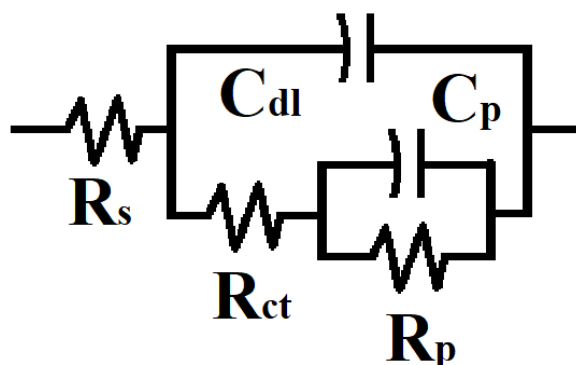


Figure 9. R(C(R(CR))) equivalent circuit used to fit experimental impedance measurements

To fit the impedance diagram, the equivalent circuit model of R(C(R(CR))) was employed (Figure 9). The parameters of the R(C(R(CR))) circuit are shown in Table 1. The intercept at the real section of the axis produces solution resistance (R_s), often referred to as equivalent series resistance (ESR), at high frequencies. This resistance is a reflection of the electrolyte's ionic resistance, the contact resistance between the active material and the current collector, and the inherent resistance of the active materials. Increasing ionic conductivity of the electrolyte is reflected in the ESR, which were 16.38 Ωcm^2 for the PEDOT/ERGO electrode prepared in 0.1 M Bu₄NPF₆/ACN, 12.66 Ωcm^2 for prepared in Et₄BF₄/ACN, 9.49 Ωcm^2 for prepared in LiClO₄/ACN. The highest C_{dl} and the lowest R_{ct} are observed for PEDOT/ERGO prepared in 0.1 M LiClO₄/ACN electrolyte, which are 13.70 mFcm⁻² and 18.75 Ωcm^2 , respectively. C_p and R_p are attributed polymer film capacitance and resistance. As seen from table 1, the C_p increases from Bu₄NPF₆ to LiClO₄, whereas the R_p decreases in the same order.

Table 1. R(C(R(CR))) equivalent circuit parameters

| | PEDOT/ERGO | Bu₄NPF₆ | Et₄NBF₄ | LiClO₄ |
|---|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| R_s/Ωcm² | 16.38 | 12.66 | 9.49 | |
| C_{dl}/mFcm⁻² | 3.14 | 11.8 | 13.70 | |
| R_{ct}/Ωcm² | 34.60 | 22.19 | 18.75 | |
| C_p/mFcm⁻² | 2.82 | 6.05 | 7.87 | |
| R_p/kΩcm² | 9.72 | 5.88 | 2.09 | |
| Chi squared/χ² | 7.74x10 ⁻³ | 2.03x10 ⁻³ | 4.70x10 ⁻³ | |

4. Conclusion

PEDOT/ERGO electrodes for supercapacitor via a facile electrochemical method were fabricated. PEDOT/ERGO electrodes were evaluated by CV, GCD, and EIS tests. Capacitance values of PEDOT/ERGO electrodes are found to vary significantly depending on electrolyte type. PEDOT/ERGO produced in 0.1 M LiClO₄/ACN electrolyte solution also exhibits the highest specific capacitance and the lowest charge transfer resistance. Maximum specific capacitance is recorded as C_{sp} = 26.48 mFcm⁻² and specific capacitance values varies between C_{sp} = 8.96–26.48 mFcm⁻² for different electrolyte types at 10 mVs⁻¹. Thus, PEDOT/ERGO can be efficiently used for supercapacitor applications.

Statement of Conflict of Interest

Author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is 100%.

References

- Ahmed S., Rafat M. Hydrothermal synthesis of PEDOT/rGO composite for supercapacitor applications. *Materials Research Express* 2018; 5(1): 015507.
- Albadi MH., El-Saadany EF. Overview of wind power intermittency impacts on power systems. *Electric Power Systems Research* 2009; 80(6): 627-632.
- Arbizzani C., Mastragostino M., Meneghello L. Polymer-based redox supercapacitors: A comparative study. *Electrochimica Acta* 1996; 41(1): 21-26.
- Athira AR., Vimuna VM., Vidya K., Xavier TS. Nanotubular polyaniline electrode for supercapacitor application. 2nd International Conference on Condensed Matter and Applied Physics (ICC), Nov 24-25 2017, Page number: 1-4, Bikaner.
- Bang K., Im KI., Kim DG., Park SH., Chung EY. Power Failure Protection Scheme for Reliable High-Performance Solid State Disks. *Ieice Transactions on Information and Systems* 2013; E96D(5): 1078-1085.
- Cairns EJ., Albertus P. Batteries for Electric and Hybrid-Electric Vehicles. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 2010; 1: 299-320.
- Choudhary MK., Sharma AK., Integration of PV, Battery and supercapacitor in islanded microgrid. 1st International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET), Jul 10-11 2020, Page number: 1-6, Patna.
- El-Hallag IS., El-Nahass MN., Youssry SM., Kumar R., Abdel-Galeil MM., Matsuda A. Facile in-situ simultaneous electrochemical reduction and deposition of reduced graphene oxide embedded palladium nanoparticles as high performance electrode materials for supercapacitor with excellent rate capability. *Electrochimica Acta* 2019; 314: 124-134.
- Hashim MA., Yatim NM., Mahmud NA., Sazali C., Hamdan NES.,Yahya E., Ngah MA., Suhaimi S. Hybrid solid polymer electrolyte from diapers as separator for electrochemical double layer Capacitor (EDLC), International Conference on Recent Advancements in Science and Technology (ICoRAST), Nov 07-08 2017, Page number: 1-10, Melaka.
- Hu YH., Schlipf J., Wussler M., Petrus ML., Jaegermann W., Bein T., Muller-Buschbaum P., Docampo P. Hybrid Perovskite/Perovskite Heterojunction Solar Cells. *ACS Nano* 2016; 10(6): 5999-6007.
- Hu ZX., Zhang XY., Gao M., Zhou HW., Wu MX. PEDOT@4A-Molecular Sieve Composite Electrode for Supercapacitor. *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science* 2019; 216:1900188.
- Huang ZQ., Guo HL., Zhang C. Assembly of 2D graphene sheets and 3D carbon nanospheres into flexible composite electrodes for high-performance supercapacitors. *Composites Communications* 2019; 12: 117-122.

- Huet F., Boitier V., Segulier L. Tunable Piezoelectric Vibration Energy Harvester With Supercapacitors for WSN in an Industrial Environment. *Ieee Sensors Journal* 2022; 22(15): 15373-15384.
- Ismar E., Karazehir T., Ates M., Sarac AS. Electrospun carbon nanofiber web electrode: Supercapacitor behavior in various electrolytes. *Journal of Applied Polymer Science* 2018; 135(4); 45723.
- Jiang YQ., Wang PB., Zang XN., Yang Y., Kozinda A., Lin LW. Uniformly Embedded Metal Oxide Nanoparticles in Vertically Aligned Carbon Nanotube Forests as Pseudocapacitor Electrodes for Enhanced Energy Storage. *Nano Letters* 2013; 13(8): 3524-3530.
- Jin EM., Lee HJ., Jun HB., Jeong SM. Electrochemical properties of alpha-Co(OH)(2)/graphene nanoflake thin film for use as a hybrid supercapacitor. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2017; 34(3): 885-891.
- Karazehir T., Sarac B., Gilsing HD., Gumrukcu S., Eckert J., Sarac A. S. Functionalized highly electron-rich redox-active electropolymerized 3,4-propylenedioxythiophenes as precursors and targets for bioelectronics and supercapacitors. *Molecular Systems Design and Engineering* 2021; 6(3), 214-233.
- Landers M., Elhadad A., Rezaie M., Choi S. Integrated Papertronic Techniques: Highly Customizable Resistor, Supercapacitor, and Transistor Circuitry on a Single Sheet of Paper. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2022; 14(40): 45658-45668.
- Li Z., Ding YT., Kang WJ., Li C., Lin D., Wang XY., Pan DY Reduction Mechanism and Capacitive Properties of Highly Electrochemically Reduced TiO₂ Nanotube Arrays. *Electrochimica Acta* 2015; 161: 40-47.
- Liu J., Yang Q., Li MZ., Zhu WH., Tian H., Song YL. Organic dye-sensitized sponge-like TiO₂ photoanode for dye-sensitized solar cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences* 2013; 371: 20120314.
- Liu XY., Huang WL., Wang DD., Tian JH., Shan ZQ. A nitrogen-doped 3D hierarchical carbon/sulfur composite for advanced lithium sulfur batteries. *Journal of Power Sources* 2017; 355: 211-218.
- Meroni SMP., Mouhamad Y., De Rossi F., Pockett A., Baker J., Escalante R., Searle J., Carnie MJ., Jewell E., Oskam G., Watson TM. Homogeneous and highly controlled deposition of low viscosity inks and application on fully printable perovskite solar cells. *Science and Technology of Advanced Materials* 2018; 19(1): 1-9.
- Murugan AV., Quintin M., Delville MH., Campet G., Gopinath CS., Vijayamohanan K. Exfoliation-induced nanoribbon formation of poly(3,4-ethylene dioxythiophene) PEDOT between MoS₂ layers as cathode material for lithium batteries. *Journal of Power Sources* 2006; 156(2): 615-619.

- Naoi K., Naoi W., Aoyagi S., Miyamoto J., Kamino T. New Generation "Nanohybrid Supercapacitor". *Accounts of Chemical Research* 2013; 46(5): 1075-1083.
- Nelson RF., Power requirements for batteries in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Source* 2000; 91(1): 2-26.
- Pawar SA., Patil DS., Shin JC. Cadmium selenide microspheres as an electrochemical supercapacitor. *Materials Today Chemistry* 2017; 4: 164-171.
- Raj CC., Srimurugan V., Flamina A., Prasanth R. Tuning the carrier density of TiO₂ nanotube arrays by controlling the oxygen vacancies for improved areal capacitance in supercapacitor applications. *Materials Chemistry and Physics* 2020; 248: 122925
- Ranjan S., Balaji S., Panella RA., Ydstie BE. Silicon solar cell production. *Computers & Chemical Engineering* 2011; 35(8): 1439-1453.
- Raza W., Ali FZ., Raza N., Luo YW., Kim KH., Yang JH., Kumar S., Mehmood A., Kwon EE. Recent advancements in supercapacitor technology. *Nano Energy* 2018; 52: 441-473.
- Ryu KS., Lee YG., Hong YS., Park YJ., Wu XL., Kim KM., Kang MG., Park NG., Chang SH. Poly(ethylenedioxythiophene) (PEDOT) as polymer electrode in redox supercapacitor. *Electrochimica Acta* 2004; 50(2-3): 843-847
- Safari B. Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2011; 15(2): 925-935.
- Sarac B., Karazehir T., Gilsing HD., Eckert J., Sarac AS. Effect of supporting electrolyte on capacitance and morphology of electrodeposited poly(3,4-propylenedioxythiophene) derivatives bearing reactive functional groups. *Molecular Systems Design and Engineering* 2022; 7(5); 460-479.
- Schrebler R., Grez P., Cury P., Veas C., Merino M., Gomez H., Cordova R., del Valle MA. Nucleation and growth mechanisms of poly(thiophene) - Part 1. Effect of electrolyte and monomer concentration in dichloromethane. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 1997; 430(1-2); 77-90.
- Smith TA., Mars JP., Turner GA.. Using supercapacitors to improve battery performance, 33rd IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC02), Jun 23-27 2002, page number:124-128, Carins.
- Snook GA., Kao P., Best AS. Conducting-polymer-based supercapacitor devices and electrodes. *Journal of Power Sources* 2011; 196(1): 1-12.
- Sonia TS., Mini PA., Nandhini R., Sujith K., Avinash B., Nair S.V., Subramanian KRV. Composite supercapacitor electrodes made of activated carbon/PEDOT:PSS and activated carbon/doped PEDOT. *Bulletin of Materials Science* 2013; 36(4), 547-551.
- Su DS. Batteries/Supercapacitors: Hybrids with CNTs. *Nanocarbon- Inorganic Hybrids: Next Generation Composites for Sustainable Energy Applications*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH; 2014.

- Toh SY., Loh KS., Kamarudin SK., Daud WRW. Graphene production via electrochemical reduction of graphene oxide: Synthesis and characterisation. *Chemical Engineering Journal* 2014; 251: 422-434.
- Vonlanthen D., Lazarev P., See KA., Wudl F., Heeger AJA. Stable Polyaniline-Benzoquinone-Hydroquinone Supercapacitor. *Advanced Materials* 2014; 26(30): 5095-5100.
- Wang CG., Zhou E., He WD., Deng XL., Huang JZ., Ding M., Wei XQ., Liu XJ., Xu XJ. NiCo₂O₄-Based Supercapacitor Nanomaterials. *Nanomaterials* 2017; 7(2): 41.
- Wang XB., Zhao Y., Wu FC., Liu SM., Zhang ZS., Tan ZY., Du XH., Li JD. ZIF-7@carbon composites as multifunctional interlayer for rapid and durable Li-S performance. *Journal of Energy Chemistry* 2021; 57: 19-27.
- Wang Y., Mayorga-Martinez CC., Pumera M. Polyaniline/MoS₂ Supercapacitor by Electrodeposition. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 2017; 90(7): 847-853.
- Xu JJ., Zhou S. Research on the target power level for Li-air battery and weight ratio distribution in a dual-battery vehicle system with Li-ion battery, *International Conference on Intelligent Systems Research and Mechatronics Engineering (ISRME)*, Apr 11-13 2015, page number:1199-1205, Zhengzhou.
- Yang W, Ni M., Ren X., Tian YF., Li N., Su YF.,Zhang XL. Graphene in Supercapacitor Applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 2015; 20(5-6): 416-428.

***In Vitro* Koşullarda Farklı Konsantrasyonlarda Sodyum Klorür İçeren Besin Ortamlarının Kabak (*Cucurbita pepo* L.) Bitkisi Gelişimine Etkisi**

Gökhan BAKTEMUR^{1*}

¹Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, 58000, Sivas

* 0000-0002-0362-5108

*Sorumlu yazar: gbaktemur@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.01.2023

Kabul tarihi:04.02.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kabak

Tuzluluk

In vitro

ÖZ

Kabak, yetiştiriciliği ülkemizde ve dünyada yaygın olarak yapılan bir sebze türüdür. Abiyotik stres faktörlerinden tuzluluk, bitkilerin gelişimini ve verimini önemli derecede azaltmaktadır. Bu çalışma, *in vitro* koşullarda farklı konsantrasyonlarda (0, 50, 100, 150, 200, 250 mM) NaCl içeren besin ortamının kabak bitkisi gelişimine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırmada gövde yaş ve kuru ağırlıkları (g), kök yaş ve kuru ağırlıkları (g), nispi su içerikleri ve tuz stresi sonrası görsel skala değerleri belirlenmiştir. Kök yaş ağırlığı en yüksek 150 mM KD (3,78 g), en düşük 250 mM KF (2,03 g) ortamında tespit edilmiştir. NaCl konsantrasyonu arttıkça nisbi su içeriğinin azalmış ve en düşük nisbi su içeriği 250 mM KF (%61,68) ortamında saptanmıştır. Deneme sonuçları dikkate alındığında, tuz miktarı arttıkça kabak bitkisinin gelişiminin azaldığı görülmüştür.

Effect of Nutrient Media Including Sodium Chloride (NaCl) at Different Concentration on Squash (*Cucurbita pepo* L.) Plant Growth Under *In Vitro* Conditions

Research Article

Article History:

Received: 08.01.2023

Accepted: 04.02.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Squash

Salinity

In vitro

ABSTRACT

Squash is a vegetable species that is cultivated widely in Türkiye and in the world. Salinity, one of the abiotic stress factors, significantly reduces the growth and yield of plants. This study was carried out to determine the effects of a nutrient media containing NaCl at different concentrations (0, 50, 100, 150, 200, 250 mM) on the growth of squash *in vitro* conditions. In the study, stem fresh and dry weights (g), root fresh and dry weights (g), relative water contents and visual scale values after salt stress were determined. Root fresh weight was highest in 150 mM KD (3.78 g) and lowest in 250 mM KF (2.03 g) media. As the NaCl concentration increased, the relative water content decreased and the lowest relative water content was found in the 250 mM KF (61.68%) medium. Considering the experimental results, it was observed that the development of squash plant decreased as the amount of salt increased.

To Cite: Baktemur G. *In Vitro* Koşullarda Farklı Konsantrasyonlarda Sodyum Klorür İçeren Besin Ortamlarının Kabak (*Cucurbita pepo* L.) Bitkisi Gelişimine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 873-882.

1. Giriş

Toprak tuzluluğu, insanoğlunu yüzlerce yıldır etkilemektedir (Gebremeskel ve ark., 2018). Hem ülkemizde hem de dünyada toprak tuzluluğu, tarım alanlarını tehdit eden bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak tuzluluğu sulanan arazilerin %20'ini kaplamakta ve yetiştirilecek türlerin verimini azaltmaktadır (Qadir ve ark., 2014). Etesami ve Maheshwari (2018), tuzluluğun ekilebilir arazide yıllık %1-2'lik bir düşüğe yol açtığını belirtmiştir. Tuzluluk, dünya çapında kurak ve yarı kurak alanlarda fizyolojik, moleküler ve biyokimyasal reaksiyonlara zarar vererek bitki büyümesini ve verimini etkileyen başlıca abiyotik streslerden bir tanesidir (Gebauer ve ark., 2004; Ali ve ark., 2022). Kök bölgesinde veya toprak yüzeyinde tuz birikimi, toprak verimliliğinin kaybolmasına neden olarak, toprak özelliklerini değiştirir ve toprağın çevresel işlevlerini olumsuz şekilde etkiler (Fu ve ark., 2020). Toprakta bulunan fazla tuzlar toprağı tuzlu hale getirmekte, tarımsal üretim ve çevre sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgeler, birbirleriyle yakından ilişkili iki tür abiyotik stres olan kuraklık ve tuzluluktan en çok etkilenen alanları oluşturmaktadır. Tuzlanma, düşük yağış ve yüksek sıcaklıklar sonucu Na, Ca₂, Mg₂ ve K gibi çözünür iyonların konsantrasyonunu arttırmaktadır. Tarımsal faaliyetler (düşük kaliteli suyla sulama, yetersiz tarım sistemleri, geleneksel mineral gübrelerin ve böcek ilaçlarının aşırı kullanımı (Abbas ve ark., 2019; Etesami ve Glick, 2020) topraklardaki tuz miktarının artmasını teşvik ederek, toprağın verimliliğini ve kalitesini düşürmektedir (Hernández-Canseco ve ark., 2022). Toprak tuzluluğu 100'den fazla ülkede bir milyar hektardan fazla alana yayılmıştır (Singh, 2022). Son yıllarda, dünya nüfusunun hızlı bir şekilde arttığı ve 2050 yılına kadar yaklaşık nüfusun 10 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Hunter ve ark., 2017). Kentleşme ve arazi bozulması nedeniyle halihazırda ekilebilir alanların azalması, gelecekteki küresel gıda talebini karşılamak açısından büyük bir endişe konusu olarak karşımıza çıkmaktadır (Hunter ve ark., 2017). Meyvesi yenilen sebzeler grubunda yer alan kabak, tek yıllık bir sebze türüdür. Kabağın gen merkezi Amerika kıtası kabul edilmekte ve farklı kabak türlerinin (*Cucurbita pepo*, *C. moschata*, *C. mixta* ve *C. maxima*) bu kıtanın güneybatısı, Meksika ve Güney Amerika'nın kuzeyinde yetiştirildiğine dair arkeolojik bulgular bilinmektedir (Bassett, 1986; Turgut, 2015). Kabak, *Cucurbita* cinsi içinde yer alır ve meyve boyu, meyve rengi ve şekil bakımından önemli farklılıklar içerir (Turgut, 2015). Kabak tohumları, yüksek besin ve enerji içeriği nedeni ile atıştırmalık olarak endüstriyel boyutta değerlendirilmektedir. Kabak tohumu, yüksek mineral içeriği ve sağlık üzerindeki faydalı etkileri sebebi ile tercih edilen bir besindir (Marie-Magdeleine ve ark., 2011; Yolcu, 2020). Bitki doku kültürü, farklı amaçlarla steril koşullar altında bitki kısımlarının yapay besin ortamına aktarılma işlemine denir. Bitki doku kültürünün amaçlarından bazıları, yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalınan türlerin korunması, üretimi zor olan türlerin çoğaltılması, hastalıklardan ve virüsten arı materyallerin elde edilmesi ve kısa süre içerisinde çok sayıda bitkinin üretilmesidir. Bu çalışmada, *in vitro* koşullarda kabak bitkisinin tuzluluğa ve tuzluluğun farklı konsantrasyonlarına karşı tepkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede sodyum klorür (NaCl)'ün 0 (kontrol), 50, 100, 150, 200, 250 mM konsantrasyonları kullanılarak tuzluluk stresi oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Çalışma Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi'ne ait bitki doku kültürü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneme kapsamında, bitkisel materyal olarak Manier MRS 9029 kabak tohumları kullanılmıştır.

2.1. Tohumların Sterilizasyonu ve *İn vitro* Koşullarda Çimlendirilmesi

Araştırmada kullanılan kabak tohumlarına, yüzey sterilizasyonu uygulanmıştır. Bu kapsamda kabak tohumları % 20'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 20 dk bekletilmiş, otoklavda steril edilmiş saf su ile 4-5 defa durulanmıştır. Tohumların ekimi, steril kabin içerisinde bitki büyümeyi düzenleyici içermeyen MS (Murashige ve Skoog, 1962) içerene petrilere yapılmıştır. Ekim işlemi sonrası petriler, 16 saat aydınlık 8 saat karanlık ve $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık koşullarına sahip büyütme odasında kültüre alınmıştır.

2.2. Tuzluluk Stresinin Oluşturulması

Deneme süresince tuzluluk oluşturma amacı ile 0, 50, 100, 150, 200, 250 mM NaCl içeren MS besin ortamları hazırlanmıştır. Besin ortamının pH'sı, 5.8 olacak şekilde ayarlanmış, 121°C sıcaklıkta, 1.2 atmosfer basınçta 15 dakika boyunca otoklav ile sterilizasyonu sağlanmıştır. Çimlenen tohumlardan elde edilen bitkilerin, farklı oranlarda NaCl içeren besin ortamlarına dikilmiştir

Denemede KA: Kontrol, KB: 50 mM, KC: 100 mM, KD: 150 mM, KE: 200 mM ve KF: 250 mM olarak adlandırılmıştır.

2.3. Çalışmada İncelenen Özellikler

2.3.1. Gövde yaş ve kuru ağırlığı: Konsantrasyonların her birinden tesadüfi olarak seçilen 10 bitkide bitkilerin gövdeleri hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları (gram) belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen bitki gövdeleri 55°C 'ye ayarlanmış etüvde, ağırlıkları sabit hale gelinceye kadar kurutulmuş ve son ağırlıkları aynı şekilde belirlenmiştir.

2.3.2. Kök yaş ve kuru ağırlığı: Konsantrasyonların her birinden tesadüfi olarak seçilen 10 bitkide bitkilerin kökleri, hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları (gram) belirlenmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen bitki kökleri 55°C 'ye ayarlanmış etüvde, ağırlıkları sabit hale gelinceye kadar kurutulmuş ve son ağırlıkları aynı şekilde belirlenmiştir.

2.3.3. Nispi su içeriği (%RWC): Dikimin 3. haftasında konsantrasyonların her birinden tesadüfi olarak seçilen 5 adet bitkinin yaş ağırlıkları ölçülerek, steril saf su içerisinde 6 saat bekletilmiş ve süre sonunda tartımları yapılarak turgorlu ağırlıkları belirlenmiştir. Bitkilerin nispi su içeriği, aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir: (Barr ve Weatherley, 1962; Orcan, 2017).

Nispi Su içeriği (% RWC) = [(Yaş Ağırlık – Kuru Ağırlık) / (Turgorlu Ağırlık – Kuru Ağırlık)] x 100

2.3.4. Tuz Stresi Sonrası Görsel Skala

Aşağıda 1’den 5’e doğru tuz stresine karşı bitkilerin tepkisini gösteren bir skala kullanılmıştır (Daşgan ve ark., 2002; Daşgan ve ark., 2006).

1. Alt yaprakların çok hafif sararmaların görüldüğü normal yeşil bitkiler
2. Alt yaprakların sararması veya solmanın başlaması ile birlikte bitki genelinde renk açılması
3. Alt yaprakların sararması, solgunluk ve/veya kuruma, bitki genelinde orta düzeyde solgunluk ve/veya sararması
4. Yaprakların %50-80 arası kuruması
5. Yaprakların tamamının kurumuş olan bitkiler

2.4. Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma, 4 tekerrür ve her bir tekerrürde 5 petri olacak şekilde tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Sonuçlar JMP 8.0.1 istatistik paket programında analiz edilmiş, farklılıkların istatistiki açıdan önemli olarak saptanan verilere, LSD testi ile harflendirme yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Değişik konsantrasyonlarda NaCl içeren besin ortamlarındaki kabak bitkisinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları Tablo 1’de verilmiştir. Gövde yaş ve kuru ağırlıkları, istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Dozlar arasında gövde yaş ağırlıkları 3,37 g- 3,74 g, gövde kuru ağırlıkları ise 0,16-0,20 arasında değişmiştir.

Bahmani ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, MM.106 elma anacının MS besin ortamında artan NaCl konsantrasyonlarına (0, 20, 40, 80, 100 ve 120 mM) *in vitro* tepkisini belirlenmiştir. 20 mM NaCl’de sürgün uzunluğu, taze ağırlık ve kök uzunluğu, kontrol ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Kıran ve ark. (2015), tuzluluk stresi altında bazı patlıcan anaçlarının gelişmelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, patlıcan tohumlarını 2:1 torf:perlit karışımı içeren viyollere ekmiş olup bitkiler 4-5 gerçek yapraklı döneme geldiklerinde 100 mM NaCl uygulamışlardır. Yedinci günde tuz stresinin, bitki gelişimini farklı oranlarda etkilendiği, bitkilerin yeşil aksam yaş ağırlıklarında ise azalmalar görüldüğü saptanmıştır. Abu-Romman ve ark. (2012), hıyarda farklı konsantrasyonlarda (0,0, 25, 50, 75 ve 100 mM) NaCl eklenerek hazırlanan ortamlarda, bitkinin sürgün yaş ve kuru ağırlıklarında konsantrasyonları artması ile ağırlıkların azaldığını tespit etmişlerdir. Alsaedi ve ark. (2018) *in vitro* koşullarda hıyarda Na⁺’nın (0, 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 mg L⁻¹). bitki üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak için tasarlanmış nanosilika (SiNP’ler) parçacıklarının rolünü belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında, yüksek Na⁺ seviyelerinin, hıyarın çimlenmesini ve gelişimini önemli ölçüde azalttığını saptamışlardır. Yaşar ve Yaşar (2022), kontrollü iklim odasında gerçekleştirdikleri çalışmada tuz stresi altında yetiştirilen çarliston ve acı biber fidelerinin bitki büyüme parametrelerini belirlemişlerdir. Bu kapsamda, Hoagland besin çözeltisine 50 mM NaCl ilave ederek, 5. 10. ve 15. gününde ölçüm ve analizler gerçekleştirmişlerdir. Tuz stresinin 5. 10. ve 15.

günlerinde çarliston ve acı biber çeşitlerinden alınan örneklerde gövde ağırlığı kıyaslandığında, tuz uygulanan bitkiler ve kontrol grubundaki bitkilerin aralarındaki farklılıkların 3 dönemde de önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 1. *In vitro* düzeyde farklı dozlardaki NaCl'nin kabak bitkisinin gövde yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkisi (g)

| Ortamlar | Gövde | |
|------------|-------------|-------------|
| | Yaş (g) | Kuru (g) |
| KA | 3,54 | 0,18 |
| KB | 3,64 | 0,16 |
| KC | 3,71 | 0,20 |
| KD | 3,37 | 0,16 |
| KE | 3,58 | 0,17 |
| KF | 3,74 | 0,17 |
| LSD | Ö.D. | Ö.D. |

*P < 0.05, **P ≤ 0.01, ***P ≤ 0.001, Ö.D; Önemli Değil

Tablo 2'de farklı konsantrasyonlarda NaCl ile hazırlanmış besin ortamlarında kabak bitkisinin kök yaş ve kuru ağırlıkları sunulmuştur. Kök yaş ve kuru ağırlıkları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kök yaş ağırlığı bakımından en yüksek sonuç, KD (3,78 g) ortamında belirlenmiştir. Bu ortamı, KB (2,69 g) izlemiştir. Ortamlar arasında en düşük kök yaş ağırlığı, KF (2,03 g) ortamında saptanmıştır. Kök kuru ağırlıkları 0,08 g - 0,15 g arasında değişmiştir. Ortamlar arasında en yüksek kök kuru ağırlığı KD (0,15 g) ortamında, en düşük KF (0,08 g) ortamında tespit edilmiştir.

Yağmur ve Kaydan (2008), PEG 6000 ve NaCl'nin 4 hekzaploid tritikale çeşidinde erken fide dönemlerinde su ve tuzun ozmotik stresinin etkilerini belirlemişlerdir. Bu kapsamda, PEG 6000'in etkilerinin, eşdeğer ozmotik potansiyellerde erken fide aşamasında NaCl'e göre daha olumsuz etkilere sahip olduğunu saptamışlardır. Zadeh ve ark. (2015), beş farklı tuzluluk seviyesi (0, 20, 40, 60 ve 80 mM NaCl) kullanılarak ekinezya tohumlarını, tuzluluk stresine tabi tutmuşlardır. Tuzluluk seviyelerinin artmasıyla, çimlenme yüzdesinin ve fidelerin gelişiminin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Avcı ve ark. (2020), pamuk çeşitlerinde *in vitro* koşullarda tuz uygulamalarında, artan tuz konsantrasyonunun bitkinin yaş kök ağırlığında azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Altuner ve ark. (2022), *in vitro* koşullarda tuz stresinin bazı arpa çeşitlerinde etkilerinin belirlendiği çalışmada, tuz konsantrasyonunun artması sonucu kuru kök ağırlığının düştüğünü bildirmişlerdir.

Tablo 2. *In vitro* düzeyde farklı dozlardaki NaCl'nin kabak bitkisinin kök yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkisi (g)

| Ortamlar | Kök | |
|----------|--------------------|--------------------|
| | Yaş (g) | Kuru (g) |
| KA | 2,29 ^{bc} | 0,09 ^{bc} |
| KB | 2,69 ^b | 0,11 ^b |
| KC | 2,67 ^{bc} | 0,10 ^b |
| KD | 3,78 ^a | 0,15 ^a |
| KE | 2,49 ^{bc} | 0,09 ^{bc} |
| KF | 2,03 ^c | 0,08 ^c |
| LSD | 0,66*** | 0,02*** |

Tablo 3'de farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren besin ortamlarındaki kabak bitkisinin nisbi su içeriği gösterilmiştir. Ortamlar arasındaki nisbi su içeriği farklılıkları, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ortamlardaki NaCl konsantrasyonu arttıkça su içeriği azalmaya başlamıştır. En yüksek nisbi su içeriği KA (%76,65), en düşük ise KF (%61,68) ortamında belirlenmiştir.

Yağmur ve Kaydan (2008), PEG 6000 ve NaCl'nin 4 hekzaploid tritikale çeşidinde erken fide dönemlerinde su ve tuzun ozmotik stresinin etkilerini belirledikleri çalışmada PEG 6000 ve NaCl'nin ozmotik potansiyelindeki azalma ile fidelerin kök ve sürgün uzunluğu (mm), taze ve kuru kök ve sürgün ağırlıkları (g) ve ayrıca bağıl su içeriğinin (%RWC,) azaldığını dikkat çekmişlerdir. Hsiao ve Xu, (2000) ve Munns ve Sharp (1993), kuru toprakta daha çok görülen tuzluluk sebebiyle yaprak gelişiminin kök gelişimine göre daha çok azaldığını bildirmişlerdir. Thornley (1998), kuruyan topraktaki bitkilerin kök biyokütlesinin iyi sulanan koşullara göre artabileceğini saptamışlardır.

Tablo 3. *In vitro* düzeyde farklı dozlardaki NaCl'nin kabak bitkisinin nisbi su içeriği (%)'ne etkisi

| Ortamlar | RCW (%) |
|----------|----------------------|
| KA | 76,65 ^a |
| KB | 69,06 ^{bc} |
| KC | 66,30 ^{bcd} |
| KD | 64,86 ^{cd} |
| KE | 70,94 ^b |
| KF | 61,68 ^d |
| LSD | 5,10*** |

Çalışma kapsamında, farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren besin ortamlarındaki kabak bitkisinin skala değerleri belirlenmiş (Tablo 4) ve ortamlar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. NaCl konsantrasyonu arttıkça, bitkilerde zararlanmanın arttığı görülmüştür. Zararlanmanın en az görüldüğü ortamlar KA (1,40) ve KB (1,60), en fazla görüldüğü ortamlar ise sırasıyla KD (2,80), KF (2,60), KC (2,40) ve KE (2,40) olmuştur.

Daşgan ve ark. (2006), genç bitki aşamasındaki 10 fasulye ve 3 börülce genotipinin tuzluluk stresine karşı göstermiş oldukları tepkileri belirledikleri çalışmalarında, tuzlu koşullarda yetiştirdikleri

bitkilerdeki zararı 1 ile 5 arasında değişen bir skala ile değerlendirmişlerdir. Genotiplerin tuzluluğa karşı duyarlı olduğunu ve 125 mM NaCl uygulamasında tuz zararlanmasının oldukça fazla görüldüğünü saptamışlardır. Salachna ve ark. (2017), mor yapraklı süs lahanası Scarlet çeşidinde saksıda farklı NaCl konsantrasyonu etkilerini belirledikleri çalışmada; 200, 400 veya 800 mmol NaCl dm⁻³ uygulamasından sonra bitki kalitesinde net bir düşüş olduğunu ve artan NaCl konsantrasyonu ile birlikte görsel skor değerlerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Saraçoğlu ve Akat (2022), topraksız süs lahanasında değişik tuzluluk düzeyleri ile yaptıkları çalışmada, en yüksek görsel skorları hiç tuz uygulaması yapılmayan uygulamada (4,42) elde etmişlerdir. Kontrollü koşullar altında tuzluluğa karşı bitkilerin tepkisinin arazi durumuna, farklı iklim koşullarına, besin durumu veya bitkinin tuzluluğa karşı toleransını değiştiren toprak özellikleri gibi birçok faktörün etkileşiminden kaynaklandığını dikkat çekmişlerdir (Munns ve Termaat, 1986; Wu ve ark., 1995; Niu ve ark., 2007; Salachna ve ark., 2017).

Tablo 4. *In vitro* düzeyde farklı dozlardaki NaCl'nin kabak bitkisinin görsel skala değerleri

| Ortamlar | Skala Değerleri (1-5) |
|----------|-----------------------|
| KA | 1,40 ^b |
| KB | 1,60 ^b |
| KC | 2,40 ^a |
| KD | 2,80 ^a |
| KE | 2,40 ^a |
| KF | 2,60 ^a |
| LSD | 0,79** |

4. Sonuç

Bitkilerin gelişimini doğrudan etkileyen tuzluluk, dünyamız için önemli bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Toprak tuzluluğunun artması, bitkilerin verimini doğrudan etkilemektedir. Sonuçları sunulan bu çalışmada, tuz etkisinin *in vitro* düzeyde tespiti amacıyla, farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren besin ortamlarında, kabak bitkisinin gelişimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Deneme süresince beş NaCl dozu ve kontrol olarak büyümeyi düzenleyici içermeyen MS besin ortamında gözlemler yapılmıştır. Araştırma sonuçları dikkate alındığında, özellikle 250 mM NaCl konsantrasyonlu ortamın, bitkilerin gelişimini önemli derece etkilediği gözlemlenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abbas R., Rasul S., Aslam K., Baber M., Shahid M., Mubeen F., Naqqash T., Halotolerant PGPRs: A hope for cultivation of saline soils. *J. King Saud Univ. Sci.* 2019; 31, 1195–1201.
- Abu-Romman S., Suwwan M., Al-Zu'bi E. Physiological effects of salinity on cucumber microshoots grown on proliferation medium. *Advances in Environmental Biology* 2012; 6(11): 2829-2834.
- Ali B., Hafeez A., Javed MA., Afridi MS., Abbasi HA., Qayyum, A., Selim, S. Role of endophytic bacteria in salinity stress amelioration by physiological and molecular mechanisms of defense: A comprehensive review. *South African Journal of Botany* 2022; 151, 33-46.
- Alsaedi A., El-Ramady H., Alshaal T., El-Garawani M., Elhawat N., Al-Otaibi A. Exogenous nanosilica improves germination and growth of cucumber by maintaining K⁺/Na⁺ ratio under elevated Na⁺ stress. *Plant physiology and Biochemistry* 2018; 125, 164-171.
- Altuner F., Oral E., Baran İ. Bazı Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitlerinde tuz (NaCl) stresinin çimlenme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 19(1): 39-50
- Avcı UY., Ahmed, HAA., Uranbey S., Akdoğan G. farklı pamuk çeşitlerinin *in vitro* koşullarda tuz stresine toleransının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 2020; 9(1): 13-26.
- Bahmani R., Gholami M., Mozafari AA., Alivaisi R. Effects of salinity on *in vitro* shoot proliferation and rooting of apple rootstock MM. 106. *World Applied Sciences Journal* 2012; 17(3): 292-295.
- Barr H.D., Weatherley PE. A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 1962; 15, 413-428.
- Bassett MJ. Breeding vegetable crops. The Avı Pupliching Company Inc, Vegatable Crocpc 1986; Departmet University of Florida Gainesville, Florida.
- Daşgan HY., Aktas H., Abak K., Çakmak İ. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science* 2002; 163, 695-703
- Daşgan HY., Koç S., Ekici B., Aktaş H., Abak K. Bazı fasulye ve börülce genotiplerinin tuz stresine tepkileri. *Alatarım.* 2006; 5(1): 23-31.
- Etesami H., Maheshwari, DK. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018; 156, 225–246.
- Etesami H., Glick BR. Halotolerant plant growth–promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. *Environ. Exp. Bot.* 2020; 178, 104124.
- Fu Z., Wang P., Sun J., Lu Z., Yang H., Liu J., Xia J., Li T. Composition, seasonal variation, and salinization characteristics of soil salinity in the Chenier Island of the Yellow River Delta. *Global Ecology and Conservation.* 2020; 24, e01318. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01318>

- Gebauer J., El-Siddig K., Salih, AA., Ebert G. Tamarindus indica L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity. Sci. Hort. 2004; 103, 1–8.
- Gebremeskel G., Gebremicae, TG., Kifle M., Meresa E., Gebremedhin T., Girmay A. Salinization pattern and its spatial distribution in the irrigated agriculture of Northern Ethiopia: An integrated approach of quantitative and spa-tial analysis. Agricultural Water Management 2018; 206, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.007>
- Hernández-Canseco J., Bautista-Cruz A., Sánchez-Mendoza S., Aquino-Bolaños T., Sánchez-Medina PS. Plant growth-promoting halobacteria and their ability to protect crops from abiotic stress: an eco-friendly alternative for saline soils. Agronomy 2022; 12(4): 804.
- Hsiao TC., Xu LK. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. Journal of Experimental Botany 2000; 51: 1595-1616.
- Hunter MC., Smith RG., Schipanski, ME., et al. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. Bioscience 2017; 67(4): 386–391.
- Kıran S., Kuşvuran Ş., Özkay F., Özgün Ö., Sönmez K., Özbek H., Ellialtıoğlu ŞŞ. Bazı patlıcan anaçlarının tuzluluk stresi koşullarındaki gelişmelerinin karşılaştırılması. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 2015; 8(1): 20-30.
- Marie-Magdeleine C., Mahieu M., Archimede H. 2011. Pumpkin (Cucurbita moschata Duchesne ex Poir.) seeds as an anthelmintic agent? Nuts Seeds Heal Dis Prev. 2011; 933–939. doi:10.1016/B978-0-12-375688-6.10110-0
- Munns R., Termaat A. Whole-plant responses to salinity. Funct. Plant Biol. 1986; 13(1): 143–160.
- Munns R., Sharp R.E. Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soil of low water potential. Australian Journal of Plant Physiology. 1993; 20: 425-37.
- Murashige T., Skoog FA. revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 1962; 15(3): 473-497.
- Niu G., Rodriguez D.S., Aguiniga L. Growth and landscape performance of ten herbaceous species in response to saline water irrigation. J. Environ. Hortic. 2007; 25(4): 204–210.
- Qadir M., Quillerou E., Nangia V, et al. Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural Resources Forum 2014; 38: 282–295.
- Orcan MY. Yerel Karacadağ Çeltiğinin (*Oryza sativa* L.) *in vitro* koşullarda farklı tuz çeşidi ve konsantrasyonlarına verdiği yanıtlar. 2017. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Salachna P., Piechocki R., Byczynska A. Plant growth of curly kale under salinity stress. Journal of Ecological Engineering 2017; 18(1): 119–124.
- Saraçoğlu ÖA., Akat H. Topraksız Süs Lahanası (*Brassica oleracea* var. *acephala*) yetiştiriciliğinde farklı tuzluluk düzeylerinin bazı kalite kriterleri ve bitki besin elementleri üzerindeki etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2022; 13(1),:114-128.

- Singh A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*. 2022; 38(1): 39-67.
- Thornley JM. Modelling shoot:root relations:the way forward. *Ann. Bot.* 1998; 81: 165-171.
- Turgut G. Çerezlik Kabak genotiplerinin Erzurum şartlarında adaptasyonu, verim ve kalitelerinin belirlenmesi. 2015; Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Wu LJ., Chen H., Lin P., Van Mantgem Harivandi MA., Harding, J.A. Effects of regenerant wastewater irrigation on growth and ion uptake of landscape plants. *J. Environ. Hort.*, 1995; 13(4): 92-96.
- Yagmur M., Kaydan D. Early seedling growth and relative water content of triticale varieties under osmotic stress of water and NaCl. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 2008; 4(6): 767-772.
- Yaşar F., Yaşar Ö. Tuz stresi altındaki çarliston biber çeşidinin gelişim performansı. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*. 2022; 6(4): 835-841.
- Yolcu B. Çeşit özellikleri ve farklı kurutma yöntemlerinin kabak çekirdeğinin antimikrobiyal, antioksidan ve bazı kalite özelliklerine etkisi. 2020; Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Zadeh SY., Ramin AA., Baninasab B. Effect of gibberellic acid, stratification and salinity on seed germination of *Echinacea purpurea* cv. *Magnus*. *Herba Polonica* 2015; 61(3): 13-22.

Amanos Dağları ve Çevresinin Eko-Gastronomik Açından Değerlendirilme Olanakları

Tuba PEHLİVAN^{1*}

¹Tourism Faculty, Department of Gastronomy and Culinary Arts Gaziantep University, Gaziantep, Turkey

¹<https://orcid.org/0000-0003-1041-6432>

*Sorumlu yazar: tpehlivan1@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.11.2022

Kabul tarihi:30.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Amanos Dağları

Ekogastronomi

Doğal

Türkiye

ÖZ

Bu çalışma, ülkemizde önemli bir floral ve doğal öneme sahip olan Amanos dağları ve çevresinin eko-gastronomi açısından sağlayacağı imkanları tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda ortaya çıkan gastronomi amaçlı turizm faaliyetlerinde doğal güzelliklere sahip alanların tercih edilmesi belirli alanları avantajlı hale getirmiştir. Amanos dağları bir ucu Kahramanmaraş ilinde diğer ucu ise bir sahil yerleşim yeri olan Samandağ (Hatay) ilçesine kadar uzanan uzun bir dağ silsilesidir. Bu dağ ve çevresi geçmişten bugüne çok farklı kültürlerle ev sahipliği yaptığı gibi bugün hala etrafında 4 farklı il ve 15 ilçenin paylaşmış olduğu alanları barındırmaktadır. Diğer yandan bu dağ ve çevresinde bulunan iller (Osmaniye, Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep) ülkemizin gastronomi açısından öne çıkan şehirleridir. Yapılan çalışmada bölgenin öne çıkan doğal alanları ve bu alanların genel floral yapısı ile sunabileceği ekogastronomik imkanlar multidisipliner bir anlayışla değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Amanos dağlarının Kahramanmaraş, Hatay ve Osmaniye cephesinin ulaşım ve yerleşim bakımından daha avantajlı olduğu ve bu alanda bölgenin floral zenginliğinin geniş ölçekte kendini gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer yandan özellikle alanda bulunan yayla yerleşimlerinin gastronomik imkanlar sunmasına rağmen ekolojik açıdan gelecekte bölge için bir kısım zararları beraberinde getireceği öngörülmüştür. Bu nedenle Amanos Dağlarının ekogastronomik potansiyelinin dağ merkezinden ziyade dağ çepelerinde gerçekleştirilmesinin ekolojik açıdan daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Eco-gastronomic Evaluation Opportunities of Amanos Mountains and Its Surroundings

Research Article

Article History:

Received: 28.11.2022

Accepted: 30.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Amanos Mountains

Eco-gastronomy

Natural

Turkey

ABSTRACT

This study was carried out in order to determine the opportunities that the Amanos mountains and its surroundings, which have an important floral and natural importance in our country, will provide in terms of eco-gastronomy. The preference for areas with natural importance in gastronomic tourism activities that have emerged in recent years has made certain areas advantageous. The Amanos Mountains are a long mountain range extending from one end to Kahramanmaraş province and the other end to the town of Samandağ (Hatay), a coastal settlement. This mountain and its surroundings have hosted many different cultures from the past to the present, as well as the areas around which 4 different provinces and 15 districts have shared today. On the other hand, this mountain and the cities around it (Osmaniye, Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep) are the prominent cities of our country in terms of gastronomy. In the study, the prominent natural areas of the region and the eco-gastronomic opportunities that these areas can offer with their general

floral structure were evaluated with a multidisciplinary approach. As a result of the study, it has been determined that the Kahramanmaraş, Hatay and Osmaniye fronts of the Amanos mountains are more advantageous in terms of transportation and settlement and the floral richness of the region manifests itself on a large scale in this area. On the other hand, although the Plateau settlements in the area offer gastronomic opportunities, it is predicted that they will bring some damage to the region in the future from an ecological point of view. For this reason, it has been concluded that it would be more appropriate from an ecological point of view to realize the eco-gastonomic potential of the Amanos Mountains in their surroundings rather than in the mountain center.

To Cite: Pehlivan T. Eco-gastronomic Evaluation Opportunities of Amanos Mountains and Its Surroundings. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 883-899.

1. Introduction

The concept of sustainability has become a concept that has found its place in almost every sector and field in recent years. It took time for human beings to realize that natural resources are limited and that any change in the ecological balance will have significant consequences if they are abused in an undue manner. However, at this point, sustainable development in the field of economy, sustainable environment in the field of ecology, sustainable resources in the field of energy resources and sustainable understanding in agriculture has emerged. As it is known, the emergence of different disciplines or concepts usually occurs when the signs of problems that may arise in the future are seen. Today, a concept known as "sustainable gastronomy or eco-gastronomy" has been added to these concepts.

Food and gastronomy are increasingly recognized as potentially determining factors for the sustainable development of regions. The theory that it can contribute to the economic, social and environmental sustainability of regions while potentially representing factors that increase their attractiveness and competitiveness is widely accepted in many research fields (Rinaldi, 2017).

Eco-gastronomy demonstrates that a community can prosper socially and economically when it has an eco-nutrition responsibility towards economic, socio-cultural and environmental sustainability and adheres to the most appropriate health standards for its members. In this respect, eco-gastronomy is also called sustainable gastronomy and communicates with all other elements of a developing system. In this context, it is stated that sustainable gastronomy supports the production and sale of local foods, transferring cooking rituals to future generations, preserving food diversity and ensuring the welfare of the society (Işıldar, 2016).

In recent years, people's tendency to seek natural and organic food has led to a significant increase in the use of weeds. This increase is important in terms of protecting nature, raising awareness of local people, increasing environmental awareness and sustainability of natural resources. In this context, the preservation of the local gastronomic heritage allows eco-gastronomic activities to be sustainable (Diker et al., 2017).

Although gastronomy is defined as the art of eating and drinking in many sources, it is actually closely related to chemistry, literature, biology, geology, history, music, philosophy, psychology, sociology,

medicine, nutrition and agriculture (Sormaz et al., 2016). Although eating and drinking needs in the past seemed to be only a biological demand, today, even when, where, how, how and with whom people eat what they eat has become important. On the other hand, eating and drinking have become the most important instruments of social cohesion in the world and in our country.

Eastern Mediterranean and Southeastern Anatolia regions stand out in terms of eating and drinking (Gastronomy) activities in Turkey. To Unesco Creative Cities Network Two of the three provinces (Gaziantep, Hatay, Afyonkarahisar) accepted in terms of gastronomy in our country are located in this region. On the other hand, the opportunities offered by these regions in terms of their historical characteristics have also affected the development of gastronomy. These regions, which are the destinations of millions of domestic and foreign tourists every year, also stand out in terms of their geographical features. Amanos Mountains and its surroundings, which are located on the transition route between these two regions and at the junction point of both countries (Turkey-Syria), are ecologically valuable. Therefore, using and evaluating this ecological asset with the same sustainable approach can ensure that these resources are also available for future generations.

When the activities such as sheltering, feeding and social needs of the world population, which has reached almost 8 billion today, are evaluated as a whole, it is seen that the anthropogenic pressure on ecology is gradually increasing. This pressure on ecology also has reflections in the field of gastronomy. These reflections are more evident in the production, reproduction and presentation processes of all plant and animal organisms that make up the main materials of gastronomy in the closest way to nature. It is the most basic requirement of the concept and understanding of "Eco-gastronomy" that all production processes of herbal and animal products are ecologically friendly. Meeting this requirement adequately is important for the healthy development and preservation of both humans and all other non-human beings in nature (Pehlivan and Yavaş, 2022).

Ecological sustainability can be expressed as reducing resource use, reducing environmental impacts from transportation, diversifying the use of local agricultural lands and reducing intensification, protecting traditional agricultural lands and promoting environmental production regulations (protecting local biodiversity, promoting organic production, reducing chemical inputs). Sustainable gastronomic tourism is aimed at protecting local gastronomic heritage, supporting local citizens and providing local development in this direction (Çetin et al., 2021).

The Amanos Mountains, which are rich in biodiversity, form the southern end of the Anatolian diagonal, starting from the southern tip of the Eastern Black Sea Mountains and extending to the Munzur Mountains and the Eastern Taurus Mountains. The Amanos Mountains have been selected as one of the hundred priority forest areas in Europe and an Important Nature Area in Turkey. In this area, it forms the habitat of 1580 plant taxa, 251 of which are endemic. Therefore, it is the richest natural area in terms of species diversity in Turkey. These taxa can be defined as three generations from the coast; "Maquis", which is the Mediterranean vegetation on the coasts, "forests" with

Mediterranean and Black Sea vegetation characteristics as you go up, and the “high mountain steppe” vegetation on the forest upper border (Güzelmansur and Lise, 2013).

The application of the concept of Ecogastronomy, which addresses ecological and gastronomic opportunities with a multidisciplinary approach, in Turkey's natural areas and prominent areas is a plus for those areas. For this reason, it is important to consider the Amanos mountains and its surroundings from a perspective that is related to many different fields such as Eco-gastronomy and has the potential to affect it positively. With the activation of this potential of the region, opportunities will be created where Ecology and Economy are evaluated together and the total potential of the region is revealed. While this region already has a very important field of activity such as gastronomy, integrating ecological opportunities into this field will benefit the people of the region.

2. Materials ve Methods

Amanos Mountains and its surroundings constitute the research material (Figures 1 and 2). The literature on the area and its natural potential also constitute the material of the research. The method of this study is the synthesis of the information obtained through literature review and field studies. Later, some suggestions were developed in line with this synthesis.



Figure 1. Amanos Mountain and Surround. Kaynak/Source: Özhatay et al., (2003).

The material of this research consists of the observations and visual data obtained in the field studies carried out periodically by me in the Amanos Mountains and its surroundings in 2021-2022. On the other hand, ecological, floristic and faunistic, cultural, gastronomic, etc. literature studies in the area related to the Amanos Mountains have also constituted an important resource for our study. By evaluating both the observations made in the Amanos mountains and the literature information together, the spatial contribution that the region can offer to the concept of eco-gastronomy has been tried to be determined.

While determining the locations of the study, the areas in contact with the Amanos Mountains were taken into consideration. In this context, the settlement areas in the area were listed on the basis of provinces and districts, and the study was evaluated by considering these locations. The areas in contact with the Amanos Mountains in the study are given in Table 1.

Table 1. The areas in contact with the Amanos Mountains in the study

| Province | District |
|-----------------|---|
| Osmaniye | Bahçe, Düziçi |
| Hatay | Erzin, Dörtyol, Payas, İskenderun, Belen, Arsuz, Samandağ, Hassa, Kırıkhan, Antakya |
| Kahramanmaraş | Andırın |
| Gaziantep | Nurdağı, İslahiye |

The fact that the Amanos Mountains extend parallel to the sea has caused significant differences in general climatic conditions between the east and west of the mountain. While the western slopes of the mountain facing the sea receive quite a lot of precipitation due to the effect of humid winds, the same winds create a blow-dry effect on the eastern slopes of the mountain, therefore the eastern slopes of the mountain, which are under the rain shadow, receive less precipitation than the western slopes. In addition, the mountainous mass prevents the tempering effects of the Mediterranean from penetrating into the interior, which causes temperature differences between the western and eastern slopes (Aytaç and Semenderoğlu, 2014).

3. Results and Discussion

In this study, the Amanos Mountains and the residential areas around them were determined, and the effect of the local people on the natural conditions of the region and how the Amanos Mountains penetrated into their natural environments was revealed through my observations. On the other hand, how the local people benefit from the natural opportunities in this area (ethnobiological) and what they include in the gastronomic opportunities of the area are revealed by literature studies.

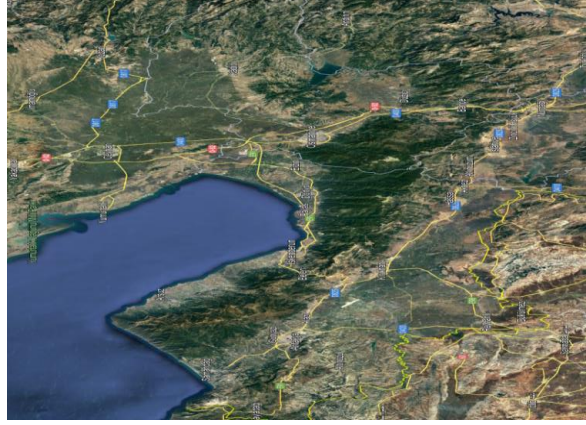


Figure 2. Map of Study area (Google Earth; 10.08.2022)

Within the scope of the study, fieldwork was carried out in the mountain villages of Tandır, Kayabaşı, Koçcağız, Köklü, Kabaklar and İdilli, which are connected to the İslahiye district of Gaziantep province, and Huzurlu Plateau, which is a nature park in this district, in July 2021. In the same period, field studies were carried out in the towns of Dört Yol (Çökek and Topaktaş Plateau), Payas, Sarımazı, Belen, Antakya and Samandağ (Çevlik) and Arsuz (Kale Village) of Hatay province. On the other hand, field observation studies were carried out in Zorkun, Cebel and Karıncalı highlands of Osmaniye in 2022 (Table 2).

Table 2. Plateaus in the Amanos Mountains

| Province | Plateau |
|---------------|--|
| Osmaniye | Zorkun, Olukbaşı, Ürün, Cebel, Alman Pınarı, Dumanlı, Örencik, Kengerlidüz |
| Hatay | Çökek, Topaktaş, Üçkoz, Bağrıaçık, Karıncalı, Kocadüz, Soğukoluk, Alan, Atık, Nergislik, Teknepınarı, Delibekirli, Çataloluk, Çınarcık, Çardak, Kapılı |
| Kahramanmaraş | Çığsar |
| Gaziantep | Huzurlu and Karagöz |

3.1. Studies on the Biodiversity of the Amanos Mountains

In the provinces surrounding the Amanos Mountains (Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş and Osmaniye), there are many studies on the flora and fauna of the mountain and its surroundings. Especially the research in the Amanos Mountains, which are the study point, has not been fully investigated due to the mountainous nature of the area, transportation opportunities and security reasons. In the search made with the keyword "Amanos" on the online platform of the Higher Education Institution Thesis Search Center (YÖKTEZ), it is seen that a total of 24 studies were

conducted from 1984 to 2022. 22 of these studies were conducted in the fields of Science (Biology (14), Geology (3), Chemistry (1), Forestry (1), Fisheries (1) Landscape Architecture (1) and Agriculture (1). It is in the fields of Geography (1) and Folklore (1). On the other hand, there are different studies by different researchers that reveal the floristic composition of the Amanos Mountains and its surroundings (Türkmen and Düzenli, 1998; Düzenli and Çakan, 2001; Yıldız, 2001; Özuslu et al, 2005; Pehlivan, 2005; Varol and Tatlı, 2003; Başaran, 2006; Akkaya, 2007; Kara, 2008; Çakır, 2009; Aydın, 2011; Pehlivan et al., 2013; Baba, 2017). However, these studies are only studies to reveal the species list of the studied areas. As can be seen from the studies carried out, there is no holistic and multidisciplinary approach to the Amanos Mountains in postgraduate education, which is one of the important academic activities of universities. Of course, it is important that basic sciences reveal the basic features and current situations of certain fields. However, today's economic and ecological conditions make it necessary to evaluate the underground and aboveground riches of the countries in a multi-dimensional way. So much so that this region exists on a world scale in terms of its gastronomic features, but it cannot integrate other geographical and natural beauties besides this feature.

3.2. Studies Investigating Plants Contributing to Gastronomy in Amanos Mountains and Its Surroundings

The studies that reveal how the people residing around the Amanos Mountains benefit from the plants found in these areas are "ethnobotanical" studies. For this purpose, a total of 128 studies were identified between 1998-2022 in the search (Yöktez) made with the search word "ethnobotany" in order to determine the ethnobotanical studies conducted in this region. When these studies are examined in detail, all the districts of Hatay except Antakya, Kumlu and Reyhanlı districts in the settlement areas of the Amanos Mountains (Table 1) (Odunkıran, 2020) and Kırıkhan District (Arslantaş, 2020), Gaziantep herbalists (Yiğit, 2014). and the studies carried out by Demirci (2010) in the Andırın district of Kahramanmaraş. When the potential of the region is evaluated, it can be said that the plant diversity of the area is not reflected in the gastronomic fields.

The studies on how the local people benefit from the plant biodiversity in the study area are not only thesis studies. Apart from these studies, there are also some studies on natural edible herbs in herbalists or public markets in the region. Keskin and Alpınar (2002) carried out an ethnobotanical study in the Kislak town of Yayladag county in Hatay province. Altay et al (2015) conducted a study in the Kırıkhan district of Hatay province, trying to reveal the ethnobotanical structure of the area in herbalists and local markets. In another study in the field, Altay and Karahan (2012) studied the ethnobotanical use of plants in and around Mustafa Kemal University, Tayfur Sökmen Campus in Hatay. Altay and Çelik (2011) studied the natural edible plants sold in the Antakya local bazaars in their study and gave information on this subject. In their study, Mert et al. (2016) studied the economic

importance and usage areas of some medicinal plants in Hatay province. Kerar and Akan (2018) conducted ethnobotanical studies in Aktepe and Zeytinoba settlements in Hatay's Hassa district.

In Osmaniye, which includes some of the Amanos Mountains within its borders, Mart and Türkmen (2008) carried out ethnobotanical studies of Bahçe and Hasanbeyli districts of Osmaniye province. Demirci and Özhatay (2012) determined the plants used for medicinal purposes in the Andırın district of Kahramanmaraş, which is located at the starting point of the Amanos Mountains.

Considering the extent to which the natural plant diversity of the Amanos Mountains is evaluated in the restaurant menus of the provinces close to this mountain, it can be seen that there are important deficiencies in this regard. Although meat-oriented foods are prominent in the menus of this region, it can be said that some vegetable dishes also contribute to the gastronomy of the region. This shows that the local people are not far from the dishes made from plants. As a matter of fact, Onur (2021) reported in his study on Hatay Cuisine that there are many flavors that are locally made at home but cannot find a place in the menus of restaurants. Some of these are Tirit, Mortadella, Maklube, Şihl Mahşi, Sırayıl / Sireysil, Mütebli, Kumbursiye, Mahulta, Zılk Stalk with Yoghurt, Fresh Surk Salad, Kete, Külçe, Semirsek (Sembusek), Haytali, Kebbet jam. This shows that there are some flavors that the local people consume themselves, but that are not reflected in the restaurant menus and still remain local.

In Osmaniye, flavors such as Gavurdagi salad and Tırşik named after a part of this mountain show that the people of this region also attach importance to plant-based foods. In addition, Bahçeci (2019) reported in their study that Çoban Salad, Handmade Pickle, Ezme Salad, Spinach Sourdough, Kavut, Cabbage Sour, Seasonal Salad, Süllüm, Söğürme, Onion Salad, Teleme as salads in Osmaniye cuisine. They stated that as vegetable dishes, Spring olla, Sour Kömeç, Roasted Beans, Spinach Roasted-Yogurt, Spinach in Water, Chickpea Leeks, Roasted Potatoes, Potato Juice, Zucchini with Olive Oil, Fresh Beans with Olive Oil and Meat are the prominent flavors of the region.

Pirpirim (purslane) and tırşik, also known as “ Doctor of Andırın” among the people in Osmaniye, are herb dishes that are commonly made in the local cuisine (Yayla and Yayla, 2019). As a matter of fact, the fact that nomadic shepherds who go to the highland to graze their animals with the arrival of spring meet their nutritional needs with herbs grown from the natural environment shows that dishes made from natural herbs are quite common in Osmaniye cuisine. In particular, roasting kömeç herb (Malva) with onions and adding bulgur, then cooking it like rice is a common herb dish in the local cuisine (Akçaözoğlu and Koday, 2019; Üzülmez and Onur, 2021).

Considering the geographical location of Osmaniye province, it is seen that it is a transition zone to close provinces such as Hatay, Adana, Gaziantep and Kahramanmaraş, which come to the fore in gastronomy tourism. In this context, the inclusion of Osmaniye in the gastronomic routes to be created within the scope of these cities and the inclusion of activities for food rituals as a gastronomic attraction element in the tour programs will contribute to the learning of the said culture by gastro tourists (Üzülmez and Akdağ, 2019).

Ceylan (2019) in his study on the Düziçi district of Osmaniye province, the wild herbs consumed as soup in this region; he stated that there are stinging nettle, watermelon and current grass. The researcher determined that Tirsik herb is one of the most well-known and abundantly made herbs by the local people, and the people of the region who think that this herb is very healthy, often include this herb in their menus. On the other hand, it has been reported that the people of the region get the herbs that are grown in this area and the dishes made from these herbs, such as pincushion rice, vinegar roast, mustard herb stew, and cold purslane pickle through edible herbs.

Gaziantep city center is approximately 80 km from the Amanos Mountains. However, Nurdağı and İslahiye districts of the province are settlements established on the skirts of Amanos Mountains. Therefore, it can be said that the province has partially benefited from the opportunities of the Amanos Mountains. Moreover, it can be said that these districts frequently use this geography for their shelter, food, heating, agriculture and tourism needs as they are bordered by mountains. Local people consume some plants as fresh in season, while others use them by drying them when the plant is not found naturally.

It is seen that tarragon grass, which is not very common in other regions, purslane, which is called "pirpirim" in the region, and mint are dried in Gaziantep. The dried Purslane is then used in the production of dishes such as "purslane meal", which is a nutritious meal (Şahin, 2015). Among the piyaz consumed according to the season in Gaziantep, onion, mung, pirpirim, green olive, watermelon and shepherd's purse are widely consumed (Tokuz, 2002).

According to the research conducted by Şenol and Giritlioğlu (2021), it has been seen that there are 100 regional dishes that are about to be forgotten in Gaziantep, and the most forgotten dishes are "Purslane Meal, Şiveydiz and Doğrama". Researchers have determined that the main reason for forgetting meals is that meals are mostly preferred by adults, but children are not willing to consume these meals.

3.3. Amanos Mountains and Ecogastronomic Opportunities

The importance of regional cuisines has increased with eco-gastronomy. The development of local cuisine has begun to come to the fore both in terms of tourism and as a regional distinctive feature. In this way, it has become a feature that can be used in the selection of tourist destinations, an element that will increase tourism revenues and an important feature for the development of the region (Öztopçu and Akar, 2019).

Onur and Onur (2016) reported in their study that although there are eating and drinking activities on the basis of touristic trips in terms of gastronomy, the main intention is not only eating and drinking. They state that in these activities, besides meeting the physiological and social needs of the tourists, discovering and tasting the foods and beverages specific to that geography, seeing different production methods and learning the cultural values of food and beverages. Gastronomic tourism, which has the characteristics of innovation, difference and originality, respecting nature and cultural values and

protecting these riches, is becoming increasingly important today. If quality food and beverage in a region are offered to the tourist experience as a tourism product of that region, purchasing and consuming local foods has a multiplier effect on the region. Thus, the local economy gains. The money that visitors to the region spend on these products contributes to the regional economy and ensures the development of these sectors.

The desire of individuals not only to fill their stomachs but also to taste local delicacies during their travels ensures that different locations are visited in the destination country. Realizing this detail, countries focus on gastronomy and develop strategies to stand out from others. It is an advantage to work on gastronomy for places famous for their cuisines such as Turkey, India, Mexico and the Far East. According to the tourist mentality, in order to get to know the culture of the travel destination, it is necessary to taste the food of that culture (Yun et al., 2011).

The Amanos Mountains and its surroundings offer very important advantages to the region in terms of natural beauty. It is very important to support an area such as gastronomy that keeps people's travel demand alive for 12 months of the year with local delicacies. The field studies carried out within the scope of the research started periodically from the district of Nurdağı, and respectively, İslahiye, Akbez, Hassa, Aktepe, Kırıkhan, Antakya, Samandağ, Arsuz, Belen, Sarımazı, İskenderun, Payas, Dört Yol, Erzin, Osmaniye, Andırın, Düziçi, Bahçe and again Nurdağı. to be completed. The focus was on the skirts of the Amanos Mountains, but the situation of some highland settlements (Huzurlu, Çökek, Zorkun, Karıncalı and Cebel) was also observed from time to time (Figure 3-4).



Figure 3. Photographs from observations in Gaziantep and Osmaniye parts of Amanos Mountains (Photed by *T. Pehlivan*)

In the study, it was seen that the transportation possibilities, especially from the Nurdağı district of Gaziantep, to the Sarımazı-Belen district of Hatay province, are more advantageous than the Nurdağı-Kırıkhan line. On the other hand, there are many highland settlements in the area. However, plateau settlements may not be suitable in terms of eco-gastronomy. The reason for this is that the highland settlements are in the inner parts of the Amanos Mountains, the damage to the area by the roadworks

and construction activities to reach these areas and the ecologically unacceptable overpopulation. Instead, the inner parts of the Amanos Mountains can be recommended for ecotourism to the masses who will visit the area from a touristic point of view, while the skirts of the mountain can offer the region's outstanding gastronomic opportunities. In order for a gastronomic activity to be carried out in any field and at the same time to be environmentally friendly, it must have a sustainable understanding. This sustainable understanding is possible with awareness of issues such as the protection of nature, efficient use of resources, environmentally friendly production and waste management.

Sustainability is defined as a state of balance in which there is harmony between the activities of the human population and their natural, social and cultural environments, and the transfer of cultural values to future generations. The basic idea of the concept of sustainability is to benefit from all natural and man-made resources without destroying, deteriorating their quality and improving them, taking into account the needs of today and future generations (Demir and Çevirgen, 2006).

In Gastronomy and Tourism activities, there are places and facilities where those who come to a destination can meet their food and beverage needs while visiting other than the places where they stay. It is important in tourism marketing to attract tourists who have some knowledge of the places to visit and spend their time there. For this purpose, it is necessary to arouse a desire for tourists to get to know the region and spend it by bringing together the touristic factors and activities that do not attract enough attention and by creating awareness (Kervankıran and Çuhadar, 2014; Moulin and Bonifica, 2001).

Integrating the provinces of Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş and Osmaniye, which have a very important natural advantage such as the Amanos Mountains, alongside this natural advantages in the region, can reach a very important place in terms of eco-gastronomy and ecotourism.

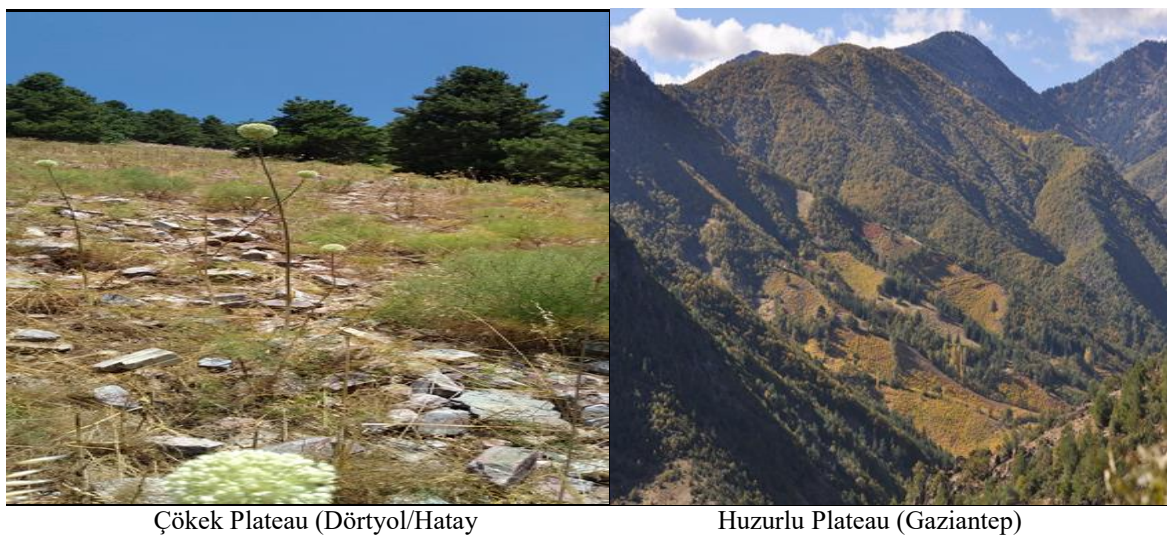


Figure 4. Photographs from observations in Hatay and Gaziantep parts of Amanos Mountains (Photed by *T. Pehlivan*)

Local dishes, prepared with various cooking techniques, especially using local products, contain their own unique flavors. With the increasing interest in local foods, tourists going to various countries to taste these flavors have revealed gastronomic tourism. Local foods play an important role in ensuring sustainability for destinations, in addition to their contribution to the local economy and being a destination attraction.

Geographical and climatic features are among the most important factors that shape culinary cultures in the world (Kızilirmak, et al. 2014). In this study, it has been determined that the people in the settlements close to the Amanos Mountains have more information about medicinal plants and use many different plant species other than the edible plants that are found to be consumed in their kitchens. Unless the destruction of this experience and cultural accumulation can be prevented, information is in danger of being lost.

Gastronomic tours and routes, which can be considered in tourism products, have recently attracted attention and are frequently used. In this way, by increasing tourism activities, it can be ensured that it is in demand by connecting places that are not very valuable and demanded in tourist terms. Gastronomy tours and routes also contribute to the increase of the recognition of the destination, the protection of cultural heritage and the reinforcement of intercultural understanding, thus the development of sustainable tourism with effective promotion and marketing activities (Filiposki, 2017; Uluçay, 2017).

İzgi (2007), in his research on the local people in Osmaniye, concluded that the local people think that local food, desserts and beverages will attract the attention of tourists, and draws attention to the fact that gastronomy tourism is one of the potentials that should be developed in the region.

According to Ceylan (2019), people have become curious about what edible wild herbs are, how they are consumed, their taste, how they are cooked, and the benefits of herbs. As this is the case, weeds have begun to take their place in restaurant menus, festivals, events and in many different places such as local bazaar. In addition to such activities, meals made with edible herbs as a local dish in tourist destinations and information about these herbs can be considered as different alternatives and different experiences for gastro-tourists. In this sense, information on edible herbs belonging to the region can be obtained from experienced resource people living in the region, and the determination and preservation of original recipes can prevent the consumption of these plants from being forgotten.

Diker et al., (2017) In their study, they examined the ethnobotanical characteristics of Eskişehir together with the concept of eco-gastronomy. According to the results of the researchers' study, there are 129 plant varieties that grow naturally in and around Eskişehir, which has a rich gastronomic culture, and are consumed as food by the local people. Since these plants emerge especially in April, they are consumed intensively in the spring months. These plants are mostly used in cooking. There are also plants that are consumed both as food and for medicinal purposes. Plants used for medicinal purposes are generally consumed by making tea. As a result of the study, the researchers suggest obtaining geographical indications for important plants unique to the region for the development of

eco-gastronomic activities in Eskişehir, and thus, they state that the gastronomic heritage of the region will be protected and the local culture and identity of Eskişehir will be recognized.

It is clear that some initiatives (Herb Festivals, Plateau Tourism and Mountain Sports) that can bring the region to the forefront from an ecoastronomical point of view, will contribute to the development of the region in the vicinity of the mountain range, which has a large population such as the Amanos Mountains. As it is known, "Herb Festivals", mostly hosted by the Aegean Region in recent years, has become an important tourist activity for the region. The presence of important cities in terms of air transportation such as Adana, Hatay and Gaziantep, which are very close to the Amanos Mountains and have high mobility, can make the region more attractive. A sustainable gastronomy initiative to be carried out with nature-friendly practices will be able to bring to light the ecological values of the region as well as highlight the gastronomic opportunities.

4. Conclusion

At the point where the world has come today, the concepts of economy and ecology are now almost considered together. As the needs of human beings diversify, all underground and aboveground resources of countries can become the starting point of development. Features such as the presence of natural habitats and the richness of biodiversity provide important advantages for the regions that host these areas. On the other hand, the point reached, evaluating the resources of countries with a multidisciplinary approach can create more comprehensive opportunities. A concept such as gastronomy, which appears to be basically eating and drinking activities, but actually contributes to and receives contributions from many different fields (Tourism, Transportation and Accommodation), should be evaluated multi-dimensionally. In this context, the evaluation of a geography such as the Amanos Mountains, which is one of the important natural areas of Turkey, in a way that will contribute to the gastronomic opportunities of the settlements around it will make significant contributions to the region. For this purpose, the Amanos Mountains, which are in the domain of two of the 3 cities (Gaziantep-Hatay) included in the Unesco Creative Cities Network from Turkey, formed the field of this study. The connection of this area with the settlements around it was examined. On the other hand, in this study, the flora, ethnobotany and gastronomy studies carried out in and around these settlements were examined and interpreted with a common understanding.

As a result of the study, it was determined and observed that the Amanos Mountains have a rich biodiversity and natural beauty. Although the gastronomic infrastructure of the settlements in the area is rich, it has been determined that the local people themselves consume some dishes that are not reflected in the restaurant menus. Studies conducted in the region have reported that local people have and consume many edible natural herbs such as (Gavur Pancarı, Isırgan Otu, Ebegümeçi, Yarpuz, Zahter, İğnelik, Hardal and Sirken etc.), but these are not reflected in the regional restaurant menus as much as they should.

Trying to evaluate the entire ecological structure of the region with its gastronomic characteristics can create a combined opportunity for touristic trips, the destination of which is this region. For example, the presence of restaurant establishments that reflect the gastronomic characteristics of the region at the same time in the highland and historical tourism areas of the region will increase the preferability of the region as it will offer many different opportunities for domestic and foreign tourists. The fact that the Amanos mountains and their borders are located in the circle of 6 different provinces, namely Adana, Osmaniye, Kahramanmaraş, Gaziantep, Kilis and Hatay, is in an advantageous geographical position as it is on the natural route of the tourists who want to visit these provinces. The presence of 4 metropolitan cities such as Adana, Hatay, Gaziantep and Kahramanmaraş in the region also increases the number of potential tourists who can come to this geography. On the other hand, besides the gastronomic features of Hatay, faith tourism, Gaziantep's gastronomic and cultural features, Kahramanmaraş's being an active province even only for ice cream, and Adana and Osmaniye's being an important bridge connecting the east and the west are important factors that make this whole region attractive.

In addition, "Edible Grass festivals", which have become popular in recent years, provide great economic advantages to the regions where they are held. However, although there is a significant consumption of natural herbs among the ethnobotanical features of the Amanos Mountains and its surroundings, it is seen that the region is deprived of such activities. In this study, the literature and field work were evaluated together and it was seen that these mountains and natural edible herbs, which have the opportunity to be neighbors with 6 different cities, do not contribute enough to the gastronomy and tourism of the region. Extensive edible grass festivals can be organized in the region, at least in provinces such as Osmaniye or Hatay, which are directly bordered by the Amanos mountains. Such studies, which will contribute to the gastronomy of the region around the Amanos Mountains today or in the near future, will highlight this region, which is already of great importance in the field of gastronomy, in terms of eco-gastronomy and eco-tourism and rural development.

Conflict of Interest Statement

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

Contribution Statement

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

References

Akçaözöğlü EY, Koday S. Kültürel Coğrafya bakımından Osmaniye ilinin mutfak kültürü. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 2019; 23(2): 537-552.

- Akkaya B.O. Narlı (Kahramanmaraş)-Aşağımülk (Gaziantep) arasında kalan bölgenin floristik yönden incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), 2007. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altay V., Çelik O. Antakya semt pazarlarındaki bazı doğal bitkilerin etnobotanik yönden araştırılması. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 2011; 4 (2): 137-139.
- Altay V., Karahan F. Tayfur Sökmen Kampüsü (Antakya-Hatay) ve çevresinde bulunan bitkiler üzerine etnobotanik bir araştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences* 2012; 2(7):13-28
- Altay V., Karahan F., Sarcan Y., İlçim A. Kırıkhan ilçesi (Hatay)'nin aktarlarında ve semt pazarlarında satılan bitkiler üzerine etnobotanik bir çalışma. *Biological Diversity and Conservation*, 2015; 8(2): 81 - 91.
- Arslantaş H. ethnobotanical features of Kirikhan district (Hatay) .Harran Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / *Biyoloji Ana Bilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, 2020; 115 s.
- Aydın K. Kilis ili Resul Osman ve Acar Dağlarındaki işlenmemiş alanların florası (Yüksek Lisans Tezi), Kilis Yedi Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011. Kilis.
- Aytaç AS., Semenderoğlu A. Amanos dağlarının orta kesimi ve yakın çevresinin iklim özellikleri. *Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*. 2014; 9(2):251-289.
- Baba H. some mycetoza (myxomycetes) members from Zorkun high plateau (Osmaniye). *Anatolian Journal of Botany*. 2017; 1 (2): 37- 40.
- Bahçeci Ö. Osmaniye yöresel yemekler kitabı. Osmaniye: 2015. Gelişim Matbaacılık.
- Başaran H. Sekeroba-Türkoğlu arasında kalan bölgenin floristik yönden incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006. Kahramanmaraş.
- Çakır Ş. Tahtaköprü Barajı Ve Çevresi (İslahiye-Gaziantep) Florası. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009. Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Çetin AS., Çirişoğlu E., Albayrak A. Sürdürülebilir gastronomi kapsamında slow food ve yaşayan mutfak uygulamalarına eleştirel bir bakış. 2. Uluslararası Turizmde Yeni Jenerasyonlar ve Yeni Trendler Kongresi. 2021. Sakarya
- Demir C., Çevirgen A. Turizm ve çevre yönetimi, Ankara: 2006. Nobel Yayın Dağıtım.
- Demirci S. Ethnobotanical study in Andirin (Kahramanmaraş) district. İstanbul Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / *Farmasötik Botanik Ana Bilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, 2010; 251 s.
- Demirci-Kayıran S., Özhatay N. Kahramanmaraş (Türkiye)' da etnobotanik bir araştırma; Andirin'da tıbbi amaçla kullanılan doğal bitkiler. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences* 2012; 9(1): 75-92.
- Diker O., Türker N., Kaya FB. Eskişehir'in etnobotanik çeşitliliğinin eko-gastronomi faaliyetleri çerçevesinde incelenmesi. *Karabük Üniv Sosl Bil Derg*, 2017; 3: 51-58.

- Düzenli A., Çakan H., Flora of Mount Musa (Hatay-Turkey) Turk. J. of Bot. 2001; 25: 285- 309.
- Filiposki O. Tourism legislation and policy: Review of tourism law in selected Balkan countries. 2017. Academia.
- Google Earth Pro (2021) Google Haritaları, [12.07.2022].
- Güzelmansur A., Lise Y. Amanos Dağları'nın biyoçeşitliliği. MKU Ziraat Fakültesi Dergisi 2013; 18 (2): 55-68.
- Işıldar P. Sürdürülebilir gastronomi. Kurgun, H & Özşeker, D. (Ed.), Gastronomi ve turizm 2016;47-63.
- Kara R. Kuzey Amanos dağları (Hatay-Dörtyol) bryofit florası ve epifitik bryofit vejetasyonunun araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2008, Adana.
- Kervankıran İ., Çuhadar M. Turizm rotalarının oluşturulmasında coğrafi bilgi sistemlerinin önemi. III. Disiplinlerarası turizm araştırmaları kongresi, 2014;576-589.
- Uluçay DM. Gastronomi turizmi işletmelerinin web siteleri üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme. Erciyes İletişim Dergisi, 2017; 5(2):196-208.
- Moulin C., Boniface P. Routeing heritage for tourism: making heritage and cultural tourism networks for socioeconomic development. International Journal of Heritage Studies, 2001;7 (3): 237-248.
- Kerar BA., Akan H. Aktepe ve Zeytinoba köyleri (Hassa / Hatay-Türkiye) arasında kalan bölgenin florası ve etnobotaniği üzerine bir araştırma. Bağbahçe Bilim Dergisi. 2018; 6 (3), 76 - 96
- Mart S., Türkmen N. Bahçe ve Hasanbeyli (Osmaniye) bölgesinin etnobotanik kültürü. Ot Sistematik Botanik Dergisi, 2008; 15(2): 137 - 150.
- Mert A., Şahin CB, Akçalı VT. Hatay yöresinde doğal olarak yayılış gösteren bazı tıbbi bitkilerin ekonomik önemleri ve kullanımları. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 2016;9 (2): 59-61
- Odunkıran ZV. An ethnobotanical study in Hatay. Yeditepe Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Fitoterapi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020;299 s. İstanbul.
- Onur N and Onur F. "Chapter 37 Potential of Gastronomy Tourism within Culture Tourism and Developing," In Global Issues and Trends in Tourism , Sofya: St. Kliment Ohridski University Press, 2016, pp.470-479.
- Onur N. Gastronomy tourism and Hatay taste route. Journal of Tourism Economics and Business Studies. 2021;3 (2):150-162.
- Özusu E., İskender E., Özaslan M., Zeynalov Y. The Investigation of the Flora of Sof Mountain (Gaziantep, Turkey). Flora Mediterranea, 2005; 15:179-209.
- Özhatay N., Byfield, A., Atay S. Türkiye'nin önemli bitki alanları. 2003. WWF Türkiye, İstanbul.
- Öztopçu A., Akar M. Eko-Gastronomi Ve Sürdürülebilir Bölgesel Kalkınma. International Social Mentality And Researcher Thinkers Journal. 2019; 5(24): 1432-1443.
- Pehlivan, M., 2005. Huzurlu Yaylası'nın (İslahiye-Gaziantep) Otsu bitkilerinin Floristik İncelenmesi (yüksek lisans tezi, basılmamış). Gaziantep Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, 113 Sayfa, Gaziantep.

- Pehlivan M., Akgül H., Yayla F. The Some Nutrient and Trace Elements Content of Wild Plants Using as Ethno botanical and Grown in the Gaziantep Region. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2013; 3 (04); 143-145.
- Pehlivan T., Yavaş G. *Ekogastronomi Ve Mutfak: Ekmeğimi Kazanıyorum!*. Özgür Yayınları. 2022. ISBN • 978-975-447-406-0. 1. Baskı. Ankara.
- Sormaz U., Akmeşe H., Gunes E., Aras, S. *Gastronomy in Tourism*. *Procedia Economics and Finance*, 2016; (39): 725-730.
- Şahin E. Bir destinasyon unsuru olarak yerel gastronominin marka şehir pazarlamasında etkileri: Gaziantep örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2015, Gaziantep.
- Şenol T., Giritlioğlu İ. Mutfak, yerel yiyecekler ve Gaziantep mutfağında kullanımı. İksad Yayınevi. 2021, Ankara. p. 1-216
- Tokuz G. *Gaziantep ve Kilis mutfak kültürü*, Birinci Baskı, Gaziantep Üniversitesi Vakfı Yayınları, 2002, Gaziantep.
- Türkmen, N. Düzenli A. The Flora of Dörtyol and Erzin Districts of Hatay Province in Turkey. *Turkish journal of Botany*, 22 (1998): 121-141.
- Üzülmez M., Akdağ G. Osmaniye ili gastronomik mirası ve sürdürülebilirliği üzerine bir araştırma. VIII. National IV. International Eastern Mediterranean Tourism Symposium, 19-20 April. 2019, P. 457-464
- Üzülmez M., Onur M. Osmaniye mutfak kültüründe yer alan yemek ritüelleri üzerine bir araştırma. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2021; 5(2): 1349-1368. DOI: 10.26677/TR1010.2021.770 .
- Varol Ö., Tatlı A. Çimen Dağı (Kahramanmaraş)'nın floristik özellikleri, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 2003; 12(46): 17-28.
- Yayla Ö., Yayla Ş. Kadirli mutfağı üzerine bir değerlendirme. 3. Uluslararası Sosyal Bilimler Kongresi, 28-29 Aralık 2019. Diyarbakır. ss: 60-72.
- Yıldız B. Floristical characteristics of Berit Dağı (Kahramanmaraş). *Turkish Journal of Botany*, 2001;25(2): 63-102.
- Yiğit-Şahin S. Medicinal plants sold in Gaziantep herbalists and their ethnobotanical aspects. Gaziantep Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Biyoloji Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014; 195 s.
- Yun D., Hennessey SM., MacDonald R. Understanding culinary tourists: segmentations based on past culinary experiences and attitudes toward food-related behaviour. 2011. International CHRIE Conference- Refereed Track.

Li İyon Pil Katot Nitrik Asitte Çözünme Koşullarının Belirlenmesi

Selçuk YEŞİLTEPE^{1*}

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 80010, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0002-0982-3439>

*Sorumlu yazar: selcukyesiltepe@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.02.2022

Kabul tarihi: 08.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Geri dönüşüm

Li-iyon pil

Atık pil

Liç

Bu çalışmada atık lityum-iyon pil katot malzemesinin nitrik asit çözeltisinde çözülerek metalik malzemeler ile grafitin geri kazanım koşulları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada atık Li-iyon katot malzemesi farklı molaritelere sahip nitrik asit çözeltisinde liç edilmiş ve metallerin çözünme verimi araştırılmıştır. Çözünme verimini etkileyen katı-sıvı oranı, çözünme süresi, H₂O₂ katkısı parametrelerinin çözünme verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda en uygun çözme koşullarının 2 saat liç süresi, 100 g/L katı-sıvı oranı ve 3M nitrik asit çözeltisi olduğu tespit edilmiştir. H₂O₂ katkısının incelendiği 2M nitrik asit çözeltisinde H₂O₂ katkısının olumlu etkisinin olmasına karşılık yeterli çözünme verimine ulaşamadığı görülmüştür.

Evaluation of Dissolution Conditions of Li-Ion Battery Cathode Material in Nitric Acid

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 16.02.2022

Accepted: 08.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Recycling

Li-ion battery

Waste battery

Leaching

In this study, recycling conditions of metallic materials and graphite from waste Li-ion cathodes are evaluated by using nitric acid solution. Li-ion cathode material is leached in nitric acid solution and leaching efficiency is studied in the present study. Parameters that affect the leaching efficiency, solid-liquid ratio, leaching time, H₂O₂ addition are investigated by relationship with leaching efficiency. Investigations show that optimal leaching conditions are 2 hours leaching time, 100 g/L solid-liquid ratio and 3M nitric acid solution. In 2M nitric acid solution addition of H₂O₂ is found to increase the efficiency however a satisfying leaching efficiency could not be reached.

To Cite: Yeşiltepe S. Li İyon Pil Katot Nitrik Asitte Çözünme Koşullarının Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 900-907.

1. Giriş

Li-iyon piller yeniden şarj edilebilir piller veya sekonder piller olarak adlandırılırlar (Arthur von Wald Cresce ve Kang Xu, 2021). Lityum iyon pillerin yeniden şarj edilebilir olması, yüksek kapasiteye sahip olması ve yüksek çevrim sayıları ile çalışabilir olması lityum iyon pillerin diğer yeniden şarj edilebilir piller arasında avantajlı olmasını sağlamıştır (Chu Liang ve ark., 2013). Bu özelliklerinden

dolayı lityum iyon piller pil pazarında kendilerine geniş bir yer bulmuşlardır (Chu Liang ve ark., 2013).

Lityum iyon pillerin geniş çapta üretimi ve yaygın olarak kullanılması, yüksek miktarda lityum iyon pil atığı oluşmasına neden olmuştur (Gratz ve ark., 2014). Lityumun sınırlı bir kaynak olması ve lityum iyon pillerde bulunan Co, Mn, Ni, grafit gibi malzemelerin yüksek ekonomik değer içermesinden dolayı atık pillerin geri dönüştürülmesi ihtiyacı doğmuştur (Kader ve ark., 2021). Geri dönüşüm işlemlerinde pirometalurjik yöntemlerin kullanılması yüksek sıcaklık işlemlerinde lityumu metalik olarak elde etmenin mümkün olmamasından ve lityumun cürufa geçmesinden dolayı kısıtlıdır (Kader ve ark., 2021). Oksijen afinitesinin yüksek olmasından dolayı lityumun karbon veya hidrojen kullanarak indirgenmesi termodinamik olarak çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir (Windisch-Kern ve ark., 2021). Pirometalurjik işlem sonucunda üretilen malzemede cüruftan lityum kazanımı ve diğer metallerin metal veya cüruf fazdan ayrıştırılarak ayrı ayrı kazanımı gerekmektedir (Windisch-Kern ve ark., 2021).

Hidrometalurjik yöntemde ise atık pil tozu asit veya baz çözeltisi içerisinde çözündürülür (Chagnes ve Pospiech, 2013). Mekanik olarak parçalanmış ve ayıklanmış lityum iyon pil tozu çözücü ortamda çözündürülerek kalıntılar filtrelenerek ayıklanır (Chagnes ve Pospiech, 2013). Uygun şartlar altında tüm metal ve metal oksitlerin çözeltiye geçmesi grafit tozunun ise filtre keki olarak elde edilmesi beklenmektedir (Sun ve Qui, 2012). Farklı lityum iyon pil katotları için geliştirilmiş olan geri dönüşüm prosesleri bulunmaktadır. Katot malzemesindeki farklı metallerin çözünme ve çökeltme farklılıklarından faydalanılarak ayrıştırma yapılmaktadır (Liu ve ark., 2019). Asitte çözme, pH ayarlama, çökeltme ve filtrasyon adımları uygulanarak farklı metallerin ayrıştırılması uygulanabilmektedir. Solvent ekstraksiyon işlemi uygulanarak çözeltiden belirli metallerin organik fazda zenginleştirilip, sonrasında saflaştırılması da hidrometalurjik olarak uygulanabilen bir diğer geri dönüşüm prosesidir.

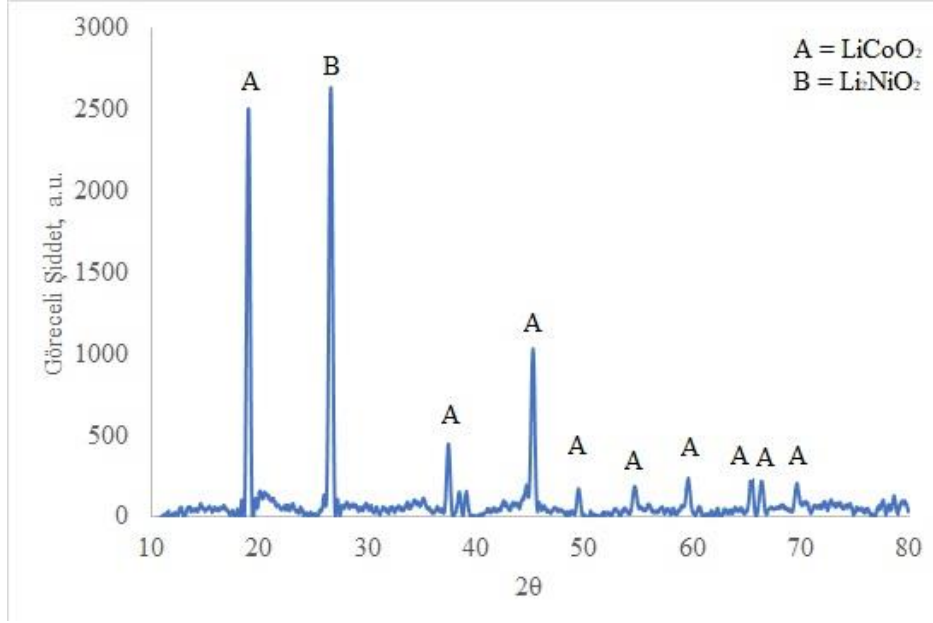
Bu çalışmada nitrik asit kullanılarak atık lityum iyon pil tozunun çözeltiye alınması ve çözeltiye alma şartlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metod

Çalışmada kullanılan atık pil tozu Türkiye’de lisanslı atık pil toplama hizmeti veren Exitcom Geri Dönüşüm firmasından alınmıştır. Atık pil tozu kral suyunda 2 saat süreyle kaynatılarak süzölmüş ve kalan çözelti Atomik Absorpsiyon Spektrometresi(Agilent 200 Series AA) ile elementel kimyasal analizine tabi tutulmuştur. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir. Malzemeye 2°/dakika hızında Cu K α radyasyonu ($\lambda=0,154$ nm) kullanılarak XRD (Bruker D8) faz analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan faz analizi sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Atık pil tozunun kimyasal analizi.

| Element | % |
|---------|-------|
| Li | 5,58 |
| Co | 60,05 |
| Ni | 4,08 |
| Grafit | 30,02 |



Şekil 1. Atık pilin XRD analizi sonucu.

Farklı molaritelere sahip nitrik asit çözeltileri %65'lik stok HNO₃ (Merck) kullanılarak hazırlanmıştır. Tüm deneylerde distile su kullanılmıştır. Peroksit katkısının incelendiği deneylerde %35'lik H₂O₂ (Merck) kullanılmıştır. Çözeltiye alma deneylerinde reflux sistemi ile 3 boyunlu balonda çözündürme yapılmış, buharlaşma kayıplarının önüne geçmek için reflux soğuk su ile deney süresince sürekli soğutulmuştur. Deneylerde kullanılan reflux sisteminin görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Reflux sisteminin resmi.

Çalışmada molarite, liç süresi, katı - sıvı oranı ve peroksit katkısının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 4 farklı deney seti hazırlanmıştır. Hazırlanan deney setlerinde molaritenin etkisinin ölçülmesi için 1, 2, 3, ve 4 M nitrik asit çözeltileri kullanılarak 100 g/L katı-sıvı oranında pil tozu çözeltileri hazırlanmış ve 2 saat süre boyunca çözündürme yapılmıştır. Molarite etkisinin belirlenmesinden sonra 3M nitrik asit çözeltisi kullanılarak 60 dakika ve 90 dakika çözündürme yapılarak sürenin etkisi belirlenmiştir. Katı - sıvı oranının belirlenmesi için 200 g/L ve 300 g/L olacak şekilde 3M nitrik asit çözeltisinde deneyler tekrarlanmıştır. H₂O₂ katkısının etkisini belirlemek amacıyla %1, %2,5 ve %5 hacimce olacak şekilde 2 M nitrik asit çözeltisi 100 g/L katı-sıvı oranı kullanılarak hazırlanmıştır. Deneylerin tamamlanmasından sonra tüm çözeltiler filtre kağıdı kullanılarak süzölmüş, filtre keki süzme sonrasında distile su ile yıkanarak kurutulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Molariteye bağlı olarak yapılan deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Verilen sonuçlarda AAS analizi sonucunda elde edilen konsantrasyonlar gram olarak ifade edilmiştir. Tabloda gram olarak çözünen madde miktarının yanında çözeltiliye alma verimi % olarak ifade edilmiştir.

Tablo 2. Molariteye bağlı olarak çözme verimleri.

| Molarite | Element | Çözünen Miktar, g | % Verim |
|----------|---------|-------------------|---------|
| 1 M | Li | 0,259 | 46,42 |
| | Co | 2,346 | 39,07 |
| | Ni | 0,114 | 27,72 |
| 2 M | Li | 0,297 | 52,97 |
| | Co | 4,149 | 69,10 |
| | Ni | 0,221 | 54,02 |
| 3 M | Li | 0,522 | 93,25 |
| | Co | 6,004 | 99,99 |
| | Ni | 0,407 | 99,45 |
| 4 M | Li | 0,557 | 99,59 |
| | Co | 6,004 | 99,99 |
| | Ni | 0,402 | 98,21 |

Katı-sıvı oranına bağlı olarak gerçekleştirilen çözme verimi deneylerinin sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Toplam çözünen madde miktarına bağlı olarak çözünen madde miktarı gram olarak, çözme verimi % olarak ifade edilmiştir.

Tablo 3. Katı-sıvı oranına bağlı olarak çözme verimleri.

| Katı-Sıvı Oranı, g/L | Toplam Çözünen Miktar, g | % Verim |
|----------------------|--------------------------|---------|
| 100 | 6,973 | 99,41 |
| 200 | 10,824 | 65,78 |
| 300 | 11,732 | 56,07 |

Süreye bağlı olarak çözeltiliye alma verimi 3M nitrik asit çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir. Toplam çözünen malzeme miktarına bağlı olarak çözündürme süresinin incelendiği deney sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Tüm deneyler 100 g/L katı-sıvı oranında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Süreye bağlı olarak çözme verimleri.

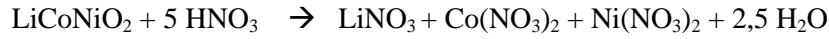
| Süre, dakika | Toplam Çözünen Miktar, g | % Verim |
|--------------|--------------------------|---------|
| 60 | 3,903 | 55,78 |
| 90 | 6,095 | 87,42 |
| 120 | 6,973 | 99,41 |

Hidrojen peroksit katkısının incelendiği deney setinde yapılan AAS analizinde elde edilen bulgular Tablo 5'te verilmiştir. Hidrojen peroksit katkılanan 2 M nitrik asit çözeltileri ile birlikte, hidrojen peroksit katkısının bulunmadığı 2 M nitrik asit ile çözündürme sonuçları birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 5. H₂O₂ katkısına bağlı 2M nitrik asitte çözme verimleri.

| H ₂ O ₂ katkısı, % hacimce | Element | Çözünen Miktar, g | % Verim |
|--|---------|-------------------|---------|
| 0 | Li | 0,297 | 52,97 |
| | Co | 4,149 | 69,10 |
| | Ni | 0,221 | 54,02 |
| 1 | Li | 0,288 | 51,61 |
| | Co | 5,393 | 89,80 |
| | Ni | 0,368 | 90,19 |
| 2,5 | Li | 0,295 | 52,87 |
| | Co | 5,926 | 98,68 |
| | Ni | 0,346 | 84,80 |
| 5 | Li | 0,285 | 51,07 |
| | Co | 5,237 | 87,21 |
| | Ni | 0,367 | 89,95 |

Deney sonuçları incelendiğinde nitrik asit ile liç edilen atık katot materyalinin en yüksek çözünme verimine 3 M nitrik asit çözeltisinde ulaştığı görülmektedir. Nitrik asit ile çözündürme işleminin kimyasal dengesi şu şekilde belirtilmiştir:



Lityum iyon pillerin katot malzemesi farklı asit veya baz çözeltileri ile liç edilebilmektedir. Hidroklorik asit (Guo ve ark., 2016), okzalik asit (Sun ve Qui, 2012), metasulfonik asit (Wang ve ark., 2019), amonyak (Ku ve ark., 2016), sülfürik asit (Wang ve Friedrich, 2015) farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Nitrik asit ile lityum iyon pillerin katot malzemelerinin geri dönüşüm amaçlı çözündürülmesi (Lee ve Rhee, 2003) farklı asit konsantrasyonları ve proses parametreleri ile çalışılmıştır. 20 g/L katı-sıvı oranında 1 M nitrik asit konsantrasyonunda etkili kabul edilebilecek liç oranına ulaşılabildiği belirtilmiştir (Lee ve Rhee, 2003). Bu çalışmada kullanılan (Lee ve Rhee, 2003) çözündürme prosesinde karıştırma hızının da çözünme hızına etkisi olduğu rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda ısıtma sisteminin karıştırmaya uygun olmamasından dolayı karıştırma yapılmamıştır. Asit konsantrasyonunun etkili çözündürme için daha yüksek miktara ihtiyaç duyması yüksek katı-sıvı oranının kullanılmasından kaynaklıdır.

H₂O₂ katkısının çözünme üzerinde etkili olduğu farklı asit çözeltileri için belirtilmiştir (Lee ve Rhee, 2003; Wang ve Friedrich, 2015). H₂O₂ içeren sülfürik asit çözeltisinde LiCoO₂ katot malzemesinin çözünme reaksiyonu şu şekilde belirtilmiştir (Honggang Wang, 2015):



H₂O₂ katkısı metallerin oksidasyonunu kolaylaştırarak iyonik halde çözeltiliye geçmesini kolaylaştırıcı etkiye sahip olduğu için çözündürme işlemlerinde kullanılmaktadır (Wang ve Friedrich, 2015). Bu etkiye karşın H₂O₂ ile reaksiyon sonucunda ortama O₂ gazı salınmaktadır. O₂ gazı çalışılan reflux sisteminde çözeltilinin kabarmasına ve gaz baloncuklarının oluşmasına sebep olmuştur. Gaz baloncukları ile ince toz formunda olan katot malzemesi reaksiyon kabının farklı bölgelerine taşınarak çözeltili ile temasını kesmesine sebep olmuştur. Bundan dolayı 2M nitrik asit çözeltisine eklenen H₂O₂ katkısının %1 ve %2,5 oranında olduğu durumda çözünme verimlerinin artmasına rağmen %5 oranında katılanan durumda artan gaz çıkışına bağlı olarak verimlerin azaldığı görülmektedir. Co ve Ni için H₂O₂ katkısı ile anlamlı oranda verim artışı görülmesine karşın Li için %52 verim oranı aşılamamıştır. 3 M nitrik asit çözeltisi ile karşılaştırıldığında H₂O₂ eklenen 2 M nitrik asit çözeltisinde genel liç verimliliğinin yetersiz olduğu görülmüştür.

Katı-sıvı oranının ve çözünme süresinin kinetik olarak yüzey kimyası ile ilgili olduğu daha önceki çalışmalarda açıklanmıştır (Wang ve Friedrich, 2015; Wang ve ark. 2019). Katı-sıvı oranının artırılması belirli bir noktadan itibaren çözünme verimini olumsuz etkilemektedir (Sun ve Qui, 2012). Reaksiyon süresinin artırılması çözünme verimini artırırken, proses koşullarında ulaşılabilecek en yüksek verim miktarına ulaşıldıktan sonra etkisiz kalmaktadır (Sun ve Qui, 2012). Reflux sisteminde buharlaşan çözeltilinin yoğunlaştırılarak tekrar reaksiyon kabına aktarılması kaynama sıcaklığında liç işlemi yapılmasını sağlamaktadır. Bu sistemde manyetik karıştırma mümkün olmamasına rağmen kaynatma ile malzemenin bir miktar karıştırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca sıcaklığın liç üzerinde kinetik olarak (Sun ve Qui, 2012; Lee ve Rhee 2003) etkili olduğu bilinmektedir. Sıcaklığın yüksek olması, literatüre oranla daha yüksek katı-sıvı oranlarında yüksek verim elde edilmesini sağlamıştır.

4. Sonuçlar

Sonuçlar değerlendirildiğinde en uygun liç koşullarının 3 M nitrik asit çözeltisi, 100 g/L katı-sıvı oranı, 120 dakika liç süresi olduğu belirlenmiştir. Reflux sisteminin ve kaynatmanın etkisi olarak literatürde çeşitli çalışmalarda verilen katı-sıvı oranından daha yüksek oranlarda çalışma imkanı olduğu görülmüştür. Kaynama-yoğuşma döngüsü ile çözeltiliye geçme veriminde ve katı-sıvı oranında reflux sisteminin avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır. H₂O₂ katkısının 2 M nitrik asit çözeltisinin liç verimliliğini Ni ve Co için arttırmasına rağmen Li için verimsiz olduğu ve uygulamada gaz çıkışının çözünme etkinliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Çözünme sırasında gaz çıkışının varlığı katı-sıvı temas süresini azaltmakta ve çözünme için gerekli olan temasın gerçekleşmesini engellemektedir.

Lityum iyon pillerin atıklarından Li, Co ve Ni yüklü nitrik asit çözeltisi ile filtre keki olarak grafit elde edilmiştir. Lityum iyon pillerin farklı proses parametreleri kullanılarak nitrik asit çözeltisinde geri dönüşüm proseslerine yönelik çözünme verimliliğinin araştırılarak optimum çözünme koşulları belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazar bu çalışmada kullanılan pil tozunu sağlayan Exitcom firması ve Murat Ilgar'a, çalışmanın yapılmasında desteklerinden dolayı Doç. Dr. Murat Farsak ve Dr. Öğr. Üyesi Özkan Aydın'a, analizler konusunda yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Berna Farsak'a ve OKÜMERLAB çalışanlarına teşekkür eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada belirtilecek çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı Özeti

Yazar bu çalışmaya 100% oranında katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Chagnes A., Pospiech B. A brief review on hydrometallurgical technologies for recycling spent lithium-ion batteries. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 2013; 88: 1191-1199.
- Cresce AW., Xu K. Aqueous lithium-ion batteries. *Carbon Energy* 2021; 3(5): 721-751.
- Gratz E., Sa Q., Apelian D., Wang Y. A closed loop process for recycling spent lithium ion batteries. *Journal of Power Sources* 2014; 262: 255-262.
- Guo Y., Li F., Zhu H., Li G., Huang J., He W. Leaching lithium from the anode electrode materials of spent lithium-ion batteries by hydrochloric acid (HCl). *Waste Management* 2016; 51: 227-233.
- Kader ZA., Marshall A., Kennedy J. A review on sustainable recycling technologies for lithium-ion batteries. *Emergent Materials* 2021; 4: 725-735.
- Ku H., Jung Y., Jo M., Park S., Kim S., Yang D., Rhee K., An E., Sohn J., Kwon K. Recycling of spent lithium-ion battery cathode materials by ammoniacal leaching. *Journal of Hazardous Materials* 2016; 313: 138-146.
- Lee CK., Rhee K. Reductive leaching of cathodic active materials from lithium ion battery wastes. *Hydrometallurgy* 2003; 68(1-3): 5-10.
- Liang C., Gao M., Pan H., Liu Y., Yan M. Lithium alloys and metal oxides as high-capacity anode materials for lithium-ion batteries. *Journal of Alloys and Compounds* 2013; 575: 246-256.

- Liu C., Lin J., Cao H., Zhang Y., Sun Z. Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. *Journal of Cleaner Production* 2019; 228: 801-813.
- Sun L., Qiu K. Organic oxalate as leachant and precipitant for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries. *Waste Management* 2012; 32(8): 1575-1582.
- Wang B., Lin X., Tang Y., Wang Q., Leung MKH, Lu X. Recycling LiCoO_2 with methanesulfonic acid for regeneration of lithium-ion battery electrode materials. *Journal of Power Sources* 2019; 436: 226828.
- Wang H., Friedrich B. Development of a highly efficient hydrometallurgical recycling process for automotive li-ion batteries. *Journal of Sustainable Metallurgy* 2015; 1: 168-178.
- Windisch-Kern S., Holzer A., Ponak C., Raupensrauch H. Pyrometallurgical lithium-ion-battery recycling: approach to limiting lithium slagging with the indured reactor concept. *Processes*, 2021; 9(1): 84.

Aşağıdan Yukarıya Endüstri 4.0 Dönüşüm Yaklaşımı: Yalın Yönetim

Atakan GERGER^{1*}

¹Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Otomotiv Teknolojileri Bölümü, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-3782-7613>

*Sorumlu yazar: atakangerg@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.02.2022

Kabul tarihi: 16.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0 dönüşüm stratejileri

Aşağıdan yukarıya yaklaşım

Yalın yönetim

Büyük veri

ÖZ

Endüstri 4.0 çağıyla birlikte; dijitalleşme çok hızlı bir şekilde hem kişisel hem de iş yaşantımızı etkilemeye başlamıştır. Özellikle endüstriyel firmalar küresel piyasalardaki değişimlere tepki verebilmek, rekabetçi konumlarını koruyabilmek ve güçlendirebilmek amacıyla Endüstri 4.0 bileşenlerini kullanmak istemektedirler. Bu doğrultuda firmalar; Endüstri 4.0 uygulamalarının belirlenmesi, bunlara karşılık gelen çözümleri üretebilmesi ve uygulanması için metodolojik bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadırlar. Bunun için firmalar, Endüstri 4.0 dönüşümlerinde kullanılan 'yukarıdan aşağıya' ve 'aşağıdan yukarıya' yaklaşımlarından birini tercih etmektedir. Yukarıdan aşağıya dönüşümler strateji üretme, strateji uygulama ve strateji geliştirme olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Kültürel değişim bu yaklaşımın temel omurgasını oluşturmaktadır. Buna karşın; Yalın Yönetim felsefesi üzerine kurulu olan 'aşağıdan yukarıya' yaklaşımda Yalın Yönetim prensipleri ve araçları üzerine dijital dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım ile sürekli iyileştirme anlayışı baz alındığından Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmaları daha kolay ve etkin olmaktadır. Aynı zamanda bu yaklaşımla dijital israfların oluşmasının önüne geçilebilmektedir. Bu çalışmada; Endüstri 4.0 dönüşüm metodu olarak 'aşağıdan yukarıya yaklaşım' tercih edilmiştir. Bunun üç önemli nedeni bulunmaktadır. Birincisi; Endüstri 4.0 fikrinin ortaya çıktığı ve çok başarılı uygulamaların gerçekleştirildiği Almanya'da Endüstri 4.0 dönüşümünde aşağıdan yukarıya yaklaşımının öncelikli tercih edilmesidir. Almanya, Endüstri 4.0 dönüşümlerde firmalarına destek olmak ve aşağıdan yukarıya yaklaşımı teşvik etmek amacıyla VDA Endüstri 4.0 kitapçığını yayınlamıştır. Dönüşüm çalışmalarını bu kılavuz doğrultusunda desteklemekte ve yönlendirmektedir. İkincisi; Türkiye'deki Endüstri 4.0 dönüşüm çalışmaları ile ilgili literatür incelendiğinde her iki yaklaşım ile ilgili bir kaynak tespit edilememiştir. Bu nedenle; hem literatürdeki bu boşluğu doldurmak ve hem de literatüre Endüstri 4.0 dönüşüm stratejisinden biri olan 'aşağıdan yukarıya yaklaşım' hakkında özgün bir kaynak sağlanmak istenmesidir. Üçüncüsü; literatürde yer alan kaynakların daha çok Endüstri 4.0'ın önemini vurgulayan ve yararlarını anlatan bir nitelik taşıdığı görülmektedir. Bu çalışmada ise sadece Endüstri 4.0'ın önemini ya da gerekliliğini vurgulamak için amaçlanmamış aynı zamanda Endüstri 4.0 dönüşümlerin gerçekleştirilmesinde aşağıdan yukarıya yaklaşımın uygulanması için gereklilikler belirtilmektedir. Bu çalışmanın bir kılavuz olarak endüstriye ve akademiye temel teşkil etmesi hedeflenmektedir.

Bottom-Up Industry 4.0 Transformation Approach: Lean Management

Review

ABSTRACT

Article History:

Received: 19.02.2022

Accepted: 16.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Industry 4.0 transformation strategies

Bottom-up approach

Lean management

Big data

With the age of Industry 4.0; Digitalization has started to affect both our personal and business life very quickly. Especially industrial companies want to use Industry 4.0 components to react to changes in global markets and to maintain and strengthen their competitive position. In this direction, companies; need a methodological approach to identify Industry 4.0 applications and produce and implement corresponding solutions. For this, companies prefer one of the 'top-down' and 'bottom-up' approaches used in Industry 4.0 transformations. Top-down transformations are carried out in three stages: strategy generation, strategy implementation, and strategy development. Cultural change is the backbone of this approach. Despite that, in the 'bottom-up' approach, which is based on the Lean Management philosophy, digital transformation is carried out on Lean Management principles and tools. Since this approach is based on the understanding of continuous improvement, Industry 4.0 transformation studies are easier and more effective. At the same time, with this approach, the formation of digital waste can be prevented. In this study, the 'bottom-up approach' was preferred as the industry 4.0 transformation method. There are three important reasons for this. First, in Germany, where the idea of Industry 4.0 has emerged and very successful applications have been realized, the bottom-up approach is the priority in the industry 4.0 transformation. Germany has published the VDMA Industry 4.0 booklet to support its companies in Industry 4.0 transformations and to encourage the bottom-up approach. It supports and directs the transformation efforts in line with this guide. Secondly, when the literature on Industry 4.0 transformation studies in Turkey was examined, a source related to both approaches could not be identified. Because the aim is to fill this gap in the literature and to provide a unique resource on the bottom-up approach, which is one of the industry 4.0 transformation strategies. Third; It is seen that the sources in the literature mostly emphasize the importance of Industry 4.0 and explain its benefits. This study, it is not only aimed to emphasize the importance or necessity of Industry 4.0, but also the requirements for the implementation of the bottom-up approach in the realization of Industry 4.0 transformations. It is aimed that this study will form the basis of industry and academia as a guide.

To Cite: Gerger A. Aşağıdan Yukarıya Endüstri 4.0 Dönüşüm Yaklaşımı: Yalın Yönetim. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023;6(1): 908-930.

1. Giriş

Teknolojinin çok hızlı bir şekilde değişip gelişmesi endüstrilerde kaçınılmaz bir dönüşümün yaşanmasına neden olmaktadır. Bu dönüşüm sadece yaşayış biçimlerini değil aynı zamanda iş yapış şekilleri, tüketim alışkanlıkları, ürün yaşam süreleri, vb. konuları da derinden etkilemektedir (Gerger, 2019a). Teknolojinin ilerlemesi ile bilginin, endüstriyel internet nesneleri (IIoT), radyo frekansı ile tanımlama (RFID) çipleri, çeşitli uygulamalar, yazılımlar, vb. kaynaklar tarafından son derece hızlı bir şekilde, büyüklükte ve eş zamanlı olarak elde edilmesini olanaklı hale getirmektedir (Gerger, 2021a). Dolayısıyla bu kaynaklardan dijital olarak elde edilen verinin miktarı çok ciddi boyutlara ulaşabilmekte ve dijitalleşme seviyesi arttıkça sahip olunan bilgi miktarı artarak neredeyse verinin tümüne sahip olunabilmektedir. Bu denli büyük verinin analizini gerçekleştiren firmalar avantaj elde ederek Endüstri 4.0 (E4.0) dönüşüm hedeflerine ulaşabilmektedir. E4.0, üretim tesislerini daha akıllı, verimli ve esnek hale getirmeyi amaçlayan yerleşik bir küresel inovasyon programıdır (Blayone ve VanOostveen, 2021). Almanya'nın Hannover fuarında 2011 yılında gündeme gelen E4.0, dijital teknolojilerin üretimle bütünleştirilmesi amacıyla gerçek dünya ile sanal dünya arasında bağ kurarak,

teknoloji ve ekonomi boyutlarının geliştirilmesine odaklanmakta (Ferreira ve Serpa, 2018) ve birbirine bağlı üç amaç için kullanılmaktadır. Bunlar; karmaşık ağların sayısallaştırılması ve entegrasyonu, sunulan hizmetlerin ve ürünlerin dijitalleştirilmesi ve yeni pazar modellerinin oluşturulmasıdır (Zezulka ve ark., 2016). E4.0 seviyesine gelene kadar modern üretim sistemlerinin, Taylor'ın seri üretiminden Ford'un konveyör bandı aracılığıyla Toyota üretim sistemine evrilmiş olduğu görülmektedir (Cil ve Turkan, 2013). Dolayısıyla; E4.0'ın hedeflerine bakıldığında Yalın Yönetimin hedefleriyle benzerlik göstermiş olduğu görülmektedir. Yalın Yönetim'de müşteri değerini en üst seviyeye çıkartmak için temel fikir kayıpları (Muda¹) ortadan kaldırmaktır (Lean Enterprise Institute, 2022). Yalın Yönetim'in basitliği ve %25'e varan üretim artışı sağlaması küresel ölçekte benimsenmesine neden olmaktadır (Dickmann, 2007). Daha gelişmiş bir üretim yönetimine duyulan ihtiyaç ve daha talepkar müşterilerin varlığı Yalın Yönetim felsefesinin ortaya çıkmasının başlıca nedenleri arasında olup (Jasti ve Kodali, 2015), üreticilerin ve hizmet sunanların operasyonlarında ortaya çıkan kayıpları büyük ölçüde azaltmalarına yardımcı olmaktadır. Ancak; günümüzün mevcut ihtiyaç ve taleplerini karşılamada Yalın Yönetim'in sınırları bulunmaktadır. Özellikle son derece özelleştirilmiş ürünlerin seri üretimi için yeterince değişken değildir. Bu nedenle; Yalın Yönetim, modern bilgi ve iletişim teknolojilerin potansiyelini kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinimden ötürü endüstride çarpıcı bir değişime neden olan E4.0 teknolojileri ile bütünleşmiş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Çünkü; E4.0 çağında gerçekleşen dijital üretim, Yalın Yönetim'in uygulanabilmesi için daha güçlü araçlar sağlamaktadır. Aynı zamanda başta üretim işletmelerinde olmak üzere Yalın Yönetim'in uygulandığı tüm alanlarda E4.0'ın uygulanma kapsamını daha da genişletmektedir (Yang ve Liu, 2021).

Makale konusu olarak E4.0 dönüşümünde Yalın Yönetim seçilmesinin nedeni; E4.0 konusuyla ilgili olarak hatırı sayılır miktarda çalışma bulunmasına rağmen bu çalışmalarda dönüşümün nasıl yapılması gerektiğiyle ilgili olarak Türkiye'de herhangi bir kaynak ile karşılaşılma olmamasıdır. Bununla birlikte; E4.0 alanında lokomotif görevi gören Almanya'da firmaların E4.0'a geçişlerine destek olmak üzere VDMA Endüstri 4.0 kılavuzu yayınlanmıştır. Bu kılavuzla Yalın Yönetim üzerine E4.0 dönüşümleri teşvik edilmekte ve VDMA tarafından firmaların gereksinim duyduğu destek sağlanmaktadır. Böylece; firmaların E4.0 dönüşümlerinde başarıyı yakalama şansını arttırarak küresel boyutta rekabet edebilirlikleri amaçlanmaktadır. Bir diğer önemli nedende; genel literatür taramasında E4.0 dönüşümlerinde sistematik bir yaklaşımın uygulanması ile ilgili bir çalışma tespit edilememesidir. Bu çalışma ile alandaki boşluğu doldurmak üzere endüstriyel tecrübeye eklenerek aşağıdan yukarıya yaklaşım dönüşümü hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın içeriği giriş bölümünü takiben; ikinci bölümde Yalın Yönetim, E4.0 ve Yalın Yönetim ve E4.0 entegrasyonu konularında literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde; araştırma yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular ve tartışma kısmına yer verilmiştir. Son

¹ Yalın Yönetim literatüründe kelimenin Japonca'sı olan Muda kelimesi ile ifade edilmektedir.

bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçların genel değerlendirmesi yapılmış ve gelecekte tamamlayıcı olarak gerçekleştirilmesi planlanan araştırma konusu/konuları hakkında bilgi verilmiştir.

2. Literatür Araştırması

2.1. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, üretim süreçlerin, bilgi teknolojilerin ve tekniklerin başarılı bir şekilde entegrasyonu ile sağlanan dijital üretim sistemini ifade etmektedir. E4.0'ın birincil amacı, üretim sisteminin verimliliğini ve yanıt verebilirliğini iyileştirmektir (Ahuett-Garza ve Kurfess, 2018). Literatürde endüstri çağların dört grup altında toplanmış olduğu görülmektedir. Bunlardan birincisi; makineleşmenin ve buhar enerjisinin endüstriye girmesiyle birlikte başlamıştır. İkinci sanayi devrimiyse; elektriğin endüstride kullanılması ve Henry Ford'un üretimde bant sistemini devreye almasıyla başlamıştır. Üçüncü sanayi devrimiyse; bilgi teknolojileri sistemlerinin ve otomasyonun devreye girmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu devrimi; amacı, fiziksel üretim ve operasyonlarını akıllı teknolojiler (temel olarak akıllı fabrikalar, bulut bilişim, IIoT, büyük veri, yapay zekâ, siber-fiziksel sistemler, vb.) ile entegre etmek olan sanayi devriminin yeni aşamasına karşılık gelen E4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimi izlemiştir. E4.0 çağında; firmalar, operasyonları üzerinde daha iyi kontrol sahibi olabilmekte, üretkenliklerini arttırabilmekte ve genel kurumsal büyümeyi iyileştirmeye yardımcı olan büyük veri analitiğini kullanmaktadırlar. Bu çağda; bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, firmaların büyük bir veri havuzuna erişmelerine olanak tanımaktadır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Verinin üretim ve hizmet alanında doğru kullanılmasıyla firmalar süreçlerini optimize edebilmekte ve karlılıklarını arttırabilmektedir. Konunun önemi dolayısıyla literatürde E4.0 ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. E4.0 literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|---------------------------|---|
| Adam ve ark. (2016) | E4.0'ın, endüstriyel çevre üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve bu durumun iş yapış biçimlerinde önemli değişikliklere neden olduğunu belirtmektedir. |
| Keliang ve ark. (2015) | E4.0'ın, üretim sürecinde mal ve hizmetler arasında doğrudan temasa izin veren elektronik mal ve hizmetlerin yanı sıra bireyselleştirilmiş dinamik bir üretim sistemi oluşturduğunu aktarmaktadır. |
| Heiner ve ark. (2014) | Dijital dönüşümün getirdiği değişikliklerin sadece modern inovasyon için geçerli olmadığını aynı zamanda işletmeler için de sonuçları olduğunu savunmaktadır. Geleneksel işletmelerde dahi ürün odaklılıktan hizmet odaklılığa geçişin beklendiğini aktarmaktadır. |
| Ray ve ark. (2017) | Akıllı üretimin, üretimde esnekliği nasıl artırdığını ve şirketlere bireysel kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimi gibi seçenekler sunduğunu belirtmektedir. |
| Gerger (2021b) | E4.0 bileşenlerinden siber güvenlik konusunun temelini oluşturan blok zinciri teknolojisini ele almaktadır. Otomotiv endüstrisinde kullanım alanları incelenmektedir. |
| Sinay ve Kotianova (2018) | Üretim sektörüne fayda sağlayabilecek E4.0 teknolojileri arasında artırılmış gerçeklik, sanal montaj, otonom robotlar ve makineler, büyük veri, akıllı lojistik sistemleri, 3D baskı, vb. E4.0 teknolojilerinin kullanılmakta olduğu aktarılmaktadır. |
| Rossit ve ark. (2019) | Çalışmada; E4.0, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasının oluşturulması ve merkezi olmayan kararların alınması olarak tanımlanmaktadır. Anında, esnek ve verimli üretim programları sağlamayı amaçlayan yeni bir karar verme şeması olan akıllı programlama konusunu detaylı olarak ele almaktadır. |
| Pereira ve ark. (2019) | Çalışmada; E4.0, yıkıcı bir teknoloji olarak vurgulanmaktadır. E4.0'ın, Yalın Yönetim uygulamalarını nasıl geliştirebileceğini araştırılmaktadır. |

| | |
|----------------------------------|---|
| Tiep ve ark. (2020) | E4.0'in iş süreçler üzerindeki rolü ve Yalın Yönetim'e olan etkisi incelenmektedir. |
| Brunheroto ve ark. (2021) | E4.0'a geçişin firmaların performansı üzerine etkileri araştırılarak Almanya ve Brezilya uygulama örneklerini kıyaslanmaktadır. |
| Çetin Gerger (2019) | Makine öğrenme, nesnelerin interneti, bulut bilişim gibi E4.0 teknolojilerin ülkelerin vergi yönetim sistemlerinde kullanılmasını ele almaktadır. |

2.2. Yalın Yönetim

Yalın Yönetimin kökeni, Japon otomobil endüstrisinde önemli bir yere sahip olan Toyota'da ortaya çıkan 'Toyota Üretim Sistemi'nden gelmektedir (Hines ve ark., 2004). Yalın Yönetim, üretim sistemi içindeki israfı yok etmeye ve/veya en aza indirmeye odaklanan, kuruluşa hiçbir değer katmayan aktiviteleri ortadan kaldırılarak sistem içindeki verimliliği en üst düzeye çıkaran bir yönetim felsefesidir. Kayıpların ortadan kaldırılmasıyla bir organizasyondaki maliyetin ve karmaşıklığın azaltmasına yardımcı olmaktadır. Bu da gerçekleştirilen faaliyetlerde daha yüksek verimlilik, etkinlik ve karlılık ile sonuçlanmaktadır (Pereira ve Sachidananda, 2021). Yalın Yönetim'in temel fikri, müşterilerin talebine göre minimum kayıpla ürün üretmek için basitleştirilmiş bir süreç akışına sahip olmaktır (Shah ve Ward, 2007). Bunu başarabilmek için Just in Time (JIT), Kanban, toplam üretken bakım (TPM) ve Heijunka gibi Yalın Yönetim tekniklerin kullanımına dayanmaktadır (Shah ve Patel, 2018). Yalın Yönetim, değeri maksimize etmeye odaklanarak operasyonel mükemmelliği amaçlamaktadır (Villalba-Diez ve ark. 2019). Yalın Yönetim ile ilgili literatür araştırıldığında birçok endüstride farklı amaçlar için başarılı bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Ancak; tüm bu başarılı uygulama örneklerine ve Yalın Yönetim'in elde etmiş olduğu üne rağmen modern dünyanın gereksinimlerine ve müşteri taleplerine ayak uydurmada yetersiz kaldığı noktaların varlığını savunan yazarlar da bulunmaktadır. Bunun nedeni olarak; Yalın Yönetimin çok etkili sonuçlar vermiş olmasına rağmen kişisel ürünlerin üretimi açısından yeterince etkili olamadığını, değişkenlik taleplerine hızlı reaksiyon veremediğini ve Yalın Yönetim teknikleri için teknolojik düzeyin yetersiz olduğunu ileri sürmektedirler. Yalın Yönetim hakkında gerçekleştirilen çalışmalardan bir kısmı Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yalın Yönetim literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|--------------------------------------|---|
| Kumar ve Mathiyazhagan (2020) | Yalın Yönetimin uygulanmasındaki güçlüklerden bahsetmektedir. Yalın Yönetimin israfları azaltmak için hızlı ve çekici bir araç olsa da şirketler uzun vadeli başarıyı sürdürmekte zorluk çekebileceği vurgulanmaktadır. Yalın Yönetimin sürdürülebilirliği için kapasitenin geliştirilmesi ve performansın iyileştirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Ayrıca; Yalın Yönetimi uygulamanın çok zorlu olduğunu ve çeşitli engellerin üstesinden gelmek için tutarlı çabalar ve finansal destek gereksinimi duyulduğunu aktarmaktadır. |
| Gerger, 2019b | Yalın Yönetimin önemli tekniklerinden olan hat dengeleme ve iş yükü düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan Heijunka tekniği detaylı olarak ele alınmaktadır. Bu tekniğin kullanılmasının başlıca amacının küçük partiler halinde üretimin gerçekleştirilebilmesi olarak tanımlanmaktadır. Heijunka'nın daha etkin olarak uygulanması için yapılması gerekenler aktarılmaktadır. |
| Gerger, 2021c | Çeşitli yönetim seviyeleri tarafından gerçekleştirilen ve çalışanların, kontrol planlarına, çalışma talimatlarına, vb. iş gereksinimlerine uyup uymadığını gözlemlemek için gerçekleştirmiş olduğu denetimleri ifade eden seviyelendirilmiş süreç denetimi (LPA) konusu incelenerek Havacılık Endüstrisinde örnek bir uygulama paylaşılmaktadır. |
| Emiliani, 2011 | Yalın Yönetim'in sürekli iyileştirme ve insana saygı olmak üzere iki temel koşulunun olduğunu aktaran yazar başarısızlığın nedenini iki temel nedene bağlamaktadır. Bunlar, Yalın Yönetim'in kısa |

| | |
|---------------------------------|--|
| | vadeli bir strateji olarak düşünülmesi ve insana saygı eksikliği olarak belirtilmektedir. İnsan olmadan sürekli iyileştirmenin yapılamayacağını aktarmaktadır. |
| Fullerton ve ark. (2014) | Yalın Yönetim'in bütünsel bir yönetim strateji olduğunun aktarıldığı çalışmada; muhasebe işlemlerinde Yalın Yönetim uygulamanın faydalı olup olmadığını araştırmaktadır. Bunun için ABD'deki 244 firmaya anket uygulayarak sonuçlarını Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) ile modellemektedir. Çalışmanın sonucunda; Yalın muhasebe uygulayan firmaların, istenen faydaları elde etmek için operasyonlarla bütünleşen ve operasyonları destekleyen temel finansal kontrolleri daha başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini aktarmaktadır. |
| Shin ve Alam (2022) | Çalışmada; Yalın Yönetim stratejisinin organizasyonel inovasyon üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Yalın Yönetim ve insan kaynakları yönetiminin entegre edilerek; istenmeyen işten ayrılımların Yalın Yönetim felsefesi kullanılarak kurumsal inovasyon arasındaki ilişkileri farklı şekillerde nasıl ve neden etkileyebileceği ele alınmaktadır. Çalışmanın sonucunda; Yalın Yönetim felsefesinin organizasyonel inovasyonla önemli ölçüde ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, işten çıkarmaların ve toplu gönüllü işten ayrılımların, Yalın Yönetim felsefesi ile örgütsel yenilik arasındaki ilişki üzerindeki etkilerinin bulunduğu aktarılmaktadır. |
| Pearce ve Pons (2019) | Yalın Yönetim'in daha iyi anlaşılması ve başarılı uygulamalar yapılması için gereken konular ele alınmakta ve YEM ile modellenmektedir. Bununla birlikte; Yalın Yönetim uygulamanın avantajları ele alınmaktadır. |
| Rotter ve ark. (2019) | Makalede, sağlık hizmetlerinde Yalın Yönetim'in operasyonel bir tanımını geliştirmek, test etmek ve uygulamak için kullanılan süreç özetlenmektedir. Ayrıca; sağlık endüstrisinde veriye dayalı ilk operasyonel tanımın bu çalışma ile yapıldığı belirtilmektedir. |

2.3. Endüstri 4.0 ve Yalın Yönetim

Mevcut üretim ve iş süreçlerinin göreceli olarak yaratıcılıktan yoksun olması ve veri analitiğindeki bilgi eksikliği E4.0'ın ortaya çıkma nedenlerinin başında gelmektedir. E4.0, düşüncelerin hayata geçirilmesi ile ortaya çıkmış bir dijital çağdır. Yalın Yönetim ve E4.0'a birlikte bakıldığında bu iki kavramın birbirinden çok da farklı olmayan, birlikte kullanıldığında daha çok yarar sağlayan ve birbirine yardımcı kavramlar olduğu görülmektedir. Örneğin; Yalın Yönetim'de kullanılan çok önemli bir araç olan 'otonomasyon' E4.0 teknolojilerini büyük ölçüde etkileyebilecek bir Yalın Yönetim tekniğidir (Roy ve ark., 2015). Bu teknikte bir kusur tespit edildiğinde, otomatikleştirilmiş süreç tamamen durmakta ve kusurun montaj hattında daha fazla ilerlemesine izin verilmemektedir. Yalın Yönetim'in bu aracının aktif olarak kullanılabilmesi ancak bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle mümkün olabilmektedir. Çünkü; Yalın Yönetim'in 1950'lerde icat edilmiş olması dolayısıyla o dönem dijitalleşmenin potansiyeli çok fazla hesaba katılmamıştır. Bu nedenle; geleneksel Yalın Yönetim uygulamalarında üretim süreçlerindeki ara stoklardaki veya çevrim sürelerindeki değişiklikler zahmetli ayarlamalar gerektirmektedir. Dolayısıyla; Yalın Yönetim daha kısa ürün yaşam döngüleri ve son derece özelleştirilmiş ürünler için uygunluğu sınırlı olmaktadır (Kolberg ve ark., 2017). İş de tamda bu noktada; E4.0, bu ihtiyaçları karşılayabilen bir endüstriyel otomasyon kavramı olarak ortaya çıkarak Yalın Yönetim ile bir sinerji oluşturmaktadır (Kolberg ve Zühlke, 2015; Mrugalska ve Wyrwicka, 2017). Bu önem son zamanlarda literatürde Yalın Yönetim ve E4.0 sinerjisini anlatan yayınların sayısındaki artış ile de görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Yalın Yönetim ve E4.0 literatür araştırması

| Yazar | Konu |
|--------------------------|---|
| Sanders ve ark. (2016) | Çalışmada; modern teknolojilerin, üretim organizasyonlarında Yalın Yönetim tekniklerinin benimseme engelini azaltmalarına yardımcı olabileceğini belirtmektedir. Ayrıca; Yalın Yönetim ve akıllı üretim teknolojilerinin birleşik etkisinin üretkenliği artırma ve israfı azaltma potansiyeline sahip olduğu aktarılmaktadır. |
| Ana ve ark. (2019) | E4.0'ı içeren çeşitli teknolojilerden Yalın Yönetim felsefesini etkileyebilecek ve geliştirebilecek olanların IIOT, veri yönetimi (büyük veri), bulut hizmetleri, yapay zekâ ve otomasyon olduğu aktarılmaktadır. Ayrıca; E4.0 teknolojilerinin sadece imalat ve sanayi sektörünü etkilemek için değil aynı zamanda ürün ve hizmetler, beceri geliştirme, yeni iş modelleri vb. diğer alanlarda daha büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmektedir. |
| Sanjib (2018) | Bir Yalın Yönetim tekniği olan Andon'un E4.0 teknolojileriyle birlikte kullanılmasıyla hatanın görünmesi ve raporlanması arasındaki sürenin kısaltılabileceği aktarılmaktadır. |
| Kolberg ve ark. (2017) | Yalın Yönetim sürecinin üretimde E4.0 teknolojilerinin benimsenmesi konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu ileri sürülmektedir. |
| Matteo ve ark. (2019) | E4.0 teknolojilerinin; aşırı üretimi en aza indirmeye ve ortadan kaldırmaya, bekleme süresini en aza indirmeye ve ortadan kaldırmaya, envanteri en aza indirmeye ve aşırı işlemeyi en aza indirmeye yardımcı olduğu aktarılmaktadır. Ayrıca; E4.0 çağında kişiselleştirilmiş ürünler bir trend haline geldiğinden, Yalın üretimin müşterilerin taleplerine ayak uydurmasının daha hızlı olacağı aktarılmıştır. |
| Kolberg ve Zühlke (2015) | E4.0 ile Yalın Yönetim entegrasyonunun oldukça uygulanabilir olduğunu ve Yalın felsefeye örtüştüğü belirtilmektedir. |
| Kamble ve ark. (2020) | Yalın Yönetim uygulamalarının E4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir kurumsal performans üzerindeki etkisini büyük ölçüde artırabileceği vurgulanmaktadır. |
| Sony (2018) | Yalın Yönetim'in E4.0'ın uygulanmasına katkıda bulunabileceğini ancak, E4.0'ın Yalın Yönetim ile entegrasyonunu öneren literatürde çalışma eksikliğinden bahsedilmektedir. Bu çalışma ile E4.0 ve Yalın Yönetim'i bütünleştirici bir model önerilmektedir. Endüstri 4.0'ın Yalın Yönetim ile dikey, yatay ve uçtan uca mühendislik entegrasyon kuruluşlara E4.0'ı uygularken yardımcı olabileceği aktarılmaktadır. |

Tüm bu çalışmalar göstermektedir ki; Yalın Yönetim ve E4.0 çözümlerinin başarılı bir şekilde birlikte uygulanması pozitif sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla; Yalın Yönetim ve E4.0 sinerjisi çok hızlı bir şekilde değişen müşteri taleplerinin karşılanmasını ve üretim verimliliklerinin artmasını sağlamaktadır.

3. Yöntemin Seçilmesi

E4.0 dönüşümlerini gerçekleştirmek isteyen kuruluşların önünde iki stratejik yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi; yukarıdan aşağıya yaklaşımdır. Bu yaklaşımda; özellikle geliştirilmiş bir kurumsal strateji gerekmektedir. Burada istenen hedef, durumun bir görüntüsünü oluşturmak ve ardından bu duruma nasıl ulaşılabileceğini adım adım açıklamaktır. Bu yaklaşımın uygulanması; strateji geliştirme, stratejiyi uygulama ve stratejiyi değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Değişim yönetimi bu yaklaşımda önemli bir etken olması dolayısıyla öncelikli olarak firmada kültürel değişime gereksinim duyulmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşım bu çalışmanın kapsamında olmadığından burada detaylı olarak ele alınmamıştır. İkinci yaklaşım ise 'aşağıdan yukarıya' yaklaşımdır. Bu yaklaşım; son derece güçlü bir yönetim stratejisi olan ve doğru uygulandığında çarpıcı başarıların elde edildiği Yalın Yönetim felsefesi üzerine kurulmaktadır. Bu çalışmada aşağıdan yukarıya yaklaşım tercih edilmiştir. Bu yaklaşımın tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biri olarak; E4.0 devrimini ilk dile getiren Almanya'nın yöntem olarak aşağıdan yukarıya yaklaşımı öncelikli olarak tercih etmesidir. Alman endüstrisinin E4.0 dönüşümü için gereksinim duymuş olduğu destekler VDMA tarafından sağlanmaktadır. VMDA, E4.0 dönüşüm projelerinin başarılı olması ve küresel rekabet

yarışında Alman firmalarının en azından mevcut konumlarını korumasını ve pazardan daha yüksek pay almasını amaçlamaktadır. Bunun için Almanya endüstrisinde yaygın olarak ve başarılı bir şekilde uygulanmakta olan Yalın Yönetim temelleri üzerine kurulu aşağıdan yukarıya yaklaşımı teşvik edilmektedir (Regber & Zimmermann , 2007). Yalın Yönetim fikrine dayanan bu yaklaşım aynı zamanda bu fikri daha da geliştirmektedir. Bu yaklaşımda; tüm işlemler değer yaratan ve değer yaratmayan (kayıplar) aktiviteler olmak üzere iki kategoriye ayrılmasına dayanmaktadır. Bir ürün veya hizmet için müşterinin para ödemeye razı olduğu kısım katma değerli aktiviteler olarak tanımlanmaktayken (Regber ve Zimmermann, 2007) diğer yapılan tüm aktiviteler ise katma değersiz olarak değerlendirilmektedir. Bir örnek olarak çamaşır makinesi son montaj hattı üzerinden bakıldığında katma değerli faaliyetler aşağıdaki gibidir:

- Gövdenin şekillendirilmesi.
- Gövdenin boyanması.
- Motor milinin sertleştirilmesi.
- Motor milini taşlanması.

Bu işlem adımları müşterinin fiilen kullandığı, üründe gerçek bir değer artışının üretildiği ve müşterinin para ödemeyi kabul ettiği faaliyetlerdir. Bu işlemler dışında kalan tüm faaliyetler ise katma değersiz faaliyetlerdir. Taichi Ohno'nun 'Toyota Üretim Sistemi' adlı kitabında bu kayıplar yedi başlık altında toplanmıştır. Bunlar (Ohno, 1988):

- Aşırı üretimler
- Bekleme süreleri
- Taşımalar
- Aşırı işlemler
- Stoklar
- Gereksiz hareketler
- Kusurlu ürünler

Bu kayıpların ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılmasıyla tam zamanında üretim (JIT) hedefi türetilmiştir. JIT ile müşterinin ihtiyaç duyduğu ürünler, doğru zamanda ve doğru miktarda, istenilen kalitede ve uygun fiyata teslim edilmektedir. JIT'nin benimsenmesiyle istenmeyen envanterin üretilmesi engellenmektedir. Bu yaklaşımı tutarlı ve sürdürülebilir bir şekilde takip eden firmalar 1990'larda ve 2000'lerde önemli verimlilik kazanımları elde etmişlerdir. Ancak tüm kazanımlara rağmen kayıpların ortadan kaldırılmasının da sınırlarının olduğu ortaya çıkmıştır. E4.0 teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte Yalın Yönetim için yeni fırsatlar doğmaktadır. Örneğin, daha küçük parti büyüklükleri çok daha olası bir durum haline gelmektedir. Çünkü; E4.0 çağında ürünün kendisi bilginin kaynağıdır. Böylece; malzeme ve bilgi akışı arasındaki karmaşık koordinasyon problemleri ortadan kalkmaktadır. Ya da durum izleme yaklaşımları E4.0 bileşenleri sayesinde makinelerin ve sistemlerin arıza olasılığı hakkında çok daha iyi bir tahmin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Aslında; aşağıdan yukarıya yaklaşımın temeli tam olarak budur. Mevcut süreçlerin analiz edilmesi, mevcut

kayıplar belirlenmesi ve yeni teknolojilerin kullanılmasıyla daha iyi çözümlerin aranmasıdır. Kayıpların tespit edilmesine yönelik olarak kullanılan en önemli Yalın Yönetim araçlarından biri değer akış haritalama (Value Stream Mapping - VSM)'dir. Değer akış haritalama siparişin alınmasından başlayarak ürünün/hizmetin müşteriye teslim edilmesine kadar olan tüm süreci izleyen, ürün ve bilgi akışını tek bir sayfada gösterilmesini sağlayan çok güçlü bir tekniktir. VSM, üretim adımlarını ve dolaylı adımları (örneğin; satış, satın alma, üretim kontrolü, proses, montaj, vb.) kapsayacak şekilde tüm sürecin akışını kaydetmektedir. VSM, E4.0 çözümlerinin yardımıyla daha iyi bir süreç vizyonunun tasarlanabileceği temelinde mevcut değer akışının kapsamlı bir resmiyle sonuçlanmaktadır. Genel olarak süreç adımları düzeyinde bir genel bakış sağlamaktadır. E4.0 çözümleri, artık görünür hale gelen kayıpların olası çözüm yelpazesini genişletmektedir. Benzer şekilde E4.0 teknolojileri, bir üretim adımında toplam ekipman verimliliğini (Overall Equipment Efficiency- OEE) arttırmakta ve sonuçta ortaya çıkan envanterin, makine verilerinin ve kayıp sürelerinin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesini sağlamaktadır.

Yalın Yönetim'in bir diğer önemli konusu da 'Detaylı Süreç Analizi'dir. Detaylı süreç analizi, sipariş kontrolü ve bilgi akışını takip etmek için kullanılmaktadır. VSM ile aynı şekilde oluşturulmaktadır. Ancak; bireysel faaliyetlerin seyrini ve bir süreç adımını izlemek için gerekli olan farklı noktalar arasındaki etkileşimleri kaydetmektedir. İletişim problemleri, fazlalıklar veya sürekli doğaçlamalara kadar görünür hale getirmektedir. Yalın Yönetim'in bu tekniğinde E4.0 yaklaşımları yeni çözümlere olanak sağlamaktadır. Veri uyumluluğunu teşvik etmek, şeffaflığı görselleştirmek veya güncel verileri sağlamak buna örnek olarak verilebilir. Bu amaçla kullanılan diğer Yalın Yönetim aracıda 'iş akış analizi'dir. İş akış analizinin kullanılma nedeni; kayıpların büyük bir bölümünün farklı kayıp türlerinin karışımından kaynaklanmasıdır. Bekleme süreleri, dengelenmemiş iş süreçleri ya da kararsız üretim verilerinden kaynaklanmaktadır. Ergonomik olarak uygun olmayan işyerleri, artan hareketler dolayısıyla fiziksel yorgunluğa yol açmaktadır. İş akışı analizi, her bir bireysel aktiviteyi kaydetmektedir ve iyileştirmeler için onu değer yaratan faaliyetler veya kayıplar olarak sınıflandırmaktadır. Aynı zamanda, iş ile ilgili süreçlerin senkronizasyon anlamında dengelenmesi ve müşteri döngüsü ile uyumlu hale getirilmesi için temel oluşturmaktadır. Çalışanın ergonomik rahatlığı için insan-robot iş birliğinin kullanılmasını teşvik etmektedir. Yalın Yönetim'in TPM (Total Productive Maintenance) gibi araçlarında E4.0 teknolojileri kullanılarak; 'ışıkla seç', 'sesle seç', vb. yöntemler kullanılarak yanlış bileşenlerin kullanılması, yanlış işlem sırasının gerçekleştirilmesi gibi pek çok hatadan kaçınılabilmektedir. Benzer şekilde, RFID kullanımıyla çalışanın rezervasyon veya belgeleme gibi zaman alıcı faaliyetlerden kurtarmak mümkün olabilmektedir (Regber ve Zimmermann, 2007).

4. Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın bu bölümünde günümüz endüstrisinde yaşanan teknolojik dönüşümün nedenlerinin ve gereksinimlerinin kök nedenleri incelenmektedir. Bunun için öncelikli olarak, teknolojiye bu muazzam gelişimin firmaları ve kişileri nasıl etkilediği ve ne tür beklentiler içine soktuğu araştırılmıştır. Beklentiler ile ilgili elde edilen bulgular; sosyal ve teknolojik devrim, endüstriyel ve teknolojik değişimler ve iş gücü piyasalarındaki değişimler olarak üç grup altında toplanmakta (Regber ve Christian, 2017) ve bu gruplara ait inceleme sonuçları paylaşılmaktadır. Beraberinde; E4.0 uygulanmasında seçilen yöntemlerden biri olan ‘aşağıdan yukarıya yaklaşım’ ele alınarak; Yalın Yönetim ve E4.0 etkileşimi araştırılmıştır.

4.1. Sosyal ve Teknolojik Devrim

Endüstri 4.0’ın itici güçlerinden birini sosyal ve teknolojik devrimler oluşturmaktadır. Bu devrimler sadece E4.0 çalışmalarını değil aynı zamanda Yalın Yönetim çalışmalarını da etkilemektedir. Dünya Ekonomik Formu, 2015 ilkbaharında 800 üst düzey yönetici ve uzmanla yaptığı anket çalışmasında; katılımcılardan 2025 yılına kadar ne tür değişimler beklediklerini belirtmelerini istemiştir. Bu anket çalışması sonucunda elde edilen bilgiler Tablo 4’te gösterilmiş olduğu gibidir (World Economic Forum, 2015).

Tablo 4. 2025 yılına kadar yaşanacak değişimler hakkında beklentiler

| Konu | Açıklama | Tahmin Edilen Olasılık |
|---|--|------------------------|
| İnsan vücuduna yerleştirilebilir teknolojiler | İletişim, konumlandırma, davranış izleme, tıbbi amaçlar, vb. amaçlar için kullanılan fiziksel cihazlar insan vücuduna entegre edilecek. | %81,7 |
| Dijital varlık | İnsanların %80’i bir tür çevrimiçi varlığa sahip olacak. | %84,4 |
| Yeni ara yüz olarak vizyon | Okuma gözlüklerinin %10’u artırılmış gerçeklik amacıyla internete bağlı olacaktır. Bu teknoloji, ek bilgi veya uzaktan yardım sağlanmasına izin verecek. | %85,5 |
| Giyilebilir internet | Tüm insanların %10’u internete bağlı giysiler giyeceğinden, bilgisayarlar günlük hayatın değişmez bir parçası olacak. | %91,2 |
| Her yerde bilgi işlem | Nüfusun %90’ının internete düzenli erişimi olacak. | %78,8 |
| Her keskin cebinde süper bir bilgisayar | Nüfusun %90’ı akıllı telefon kullanacak. | %80,7 |
| Herkes için depolama | Nüfusun %90’ı sınırsız ve ücretsiz (reklamla finanse edilen) depolama alanına sahip olacak. | %91,0 |
| Nesnelerin interneti | Bir trilyon sensör internete bağlı olacak. Bu şekilde toplanan veriler, tamamen yeni bir analiz kapsamına izin verecek. | %89,2 |
| Bağlı ev | Evlerdeki internet yoğunluğunun %50’sinden fazlası akıllı ev cihazlarından oluşacak (eğlence veya iletişim teknolojisi hariç). | %69,9 |
| Akıllı şehirler | Elli binden fazla sakini olan bir şehirde hiç trafik ışığı olmayacak. | %63,7 |
| Kararlar için büyük veri | Büyük veri ile nüfus sayımı yapılacaktır. | %82,9 |
| Sürücüsüz arabalar | ABD’deki arabaların %10’u sürücüsüz olacak. | %78,2 |
| Yapay zeka ve karar verme süreçleri | Yapay zekaya sahip ilk makine bir şirketin yönetim pozisyonunda çalışmaya başlayacak. | %45,2 |
| Yapay zeka ve beyaz yakalı işler | Kurumlardaki tüm denetimlerin %30’u yapay zeka tarafından gerçekleştirilecek. | %75,4 |

| | | |
|-------------------------------|--|-------|
| Robotik ve hizmetler | İlk eczane robotları ABD'de faaliyette olacak. | %86,5 |
| Bitcoin ve Blok zinciri | Küresel ekonomik çıktının %10'u blok zinciri teknolojisinde depolanacak. | %57,9 |
| Paylaşım ekonomisi | Dünya çapında kişisel araçlardan daha fazla araç paylaşımlı olarak kullanılacak. | %67,2 |
| Hükümetler ve Blok zinciri | Vergiler blok zinciri aracılığıyla toplanacak. | %73,1 |
| 3D baskı ve üretim | 3D ile üretilmiş ilk araba olacak. | %84,1 |
| 3D baskı ve insan sağlığı | 3D ile basılmış bir karaciğerin ilk nakli gerçekleştirilecek. | %76,4 |
| 3D baskı ve tüketici ürünleri | Tüm tüketici ürünlerinin %5'i bir 3D yazıcıdan gelecek. | %81,1 |

4.2. Endüstriyel ve Teknolojik Değişimler

Yalın Yönetim, endüstrideki kaliteyi ve tam zamanında teslimat oranını maksimize etmeyi, aynı zamanda tüm maliyetleri aşağı çekmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle; endüstrilerde yaşanan değişimlere ayak uydurması gerekmektedir. Bu noktada; Yalın Yönetim, E4.0 teknolojilerini Yalın teknikleriyle entegre ederek teknolojik trendleri yakalamaktadır. Bu konuda üç mega trend bulunmaktadır. Bunlar; fiziksel mega trendler, dijital mega trendler ve biyolojik mega trendlerdir (Schwab, 2016).

4.2.1. Fiziksel mega trendler

Fiziksel mega trendleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

- *Kendinden tahrikli motorlu araçlar:* Ürün teslimatında kullanılan otonom araçlar, dronlar, vb. bu grupta yer almaktadır.
- *3D baskı:* Sıvı ve toz halindeki malzemelerinin birbiri üzerine eklenmesiyle gerçekleştirilen üretim şeklini tanımlamaktadır.
- *Gelişmiş robotik:* İnsanla senkronize bir şekilde çalışan robotlar, hava taksiler, evlerde kullanılan robotlar, nano teknoloji robotları, taşıma robotları, vb. bu grupta yer almaktadır.
- *Yeni Malzemelerin Kullanımı:* Daha küçük, daha hafif ve daha güçlü malzemeler, yeni fizyokimyasal özelliklere sahip malzemeler (Isaiah, 2015) ve son olarak kendi zekasına sahip malzemeler bu grupta yer almaktadır.

4.2.2. Dijital mega trendler

IIoT tarafından ağ bağlantılı teknolojiler ve bileşenlerin etkileşimi ile tanımlanmaktadır (Schwab, 2016). Burada anahtar kelime büyük veridir. Veriler birbirleriyle eşleştirilebilmektedir. Bu da ilişkilerin tanımlanmasına izin vermektedir. Hatta bazı uzmanlar, büyük veri çağında ilişkilerin klasik nedensellik arayışını gereksiz bulmaktadır (Mayer-Schönberger ve Cukier, 2014).

4.2.3. Biyolojik mega trendler

Gen dizilimi, gen aktivasyonu ve gen düzenleme gibi konuları içermektedir. Biyolojik mega trendler, organizmaların DNA diziliminin uyarlanmasına izin veren sentetik bir biyolojinin geliştirilmesiyle ilgilenmektedir. Böylece; çeşitli genetik hastalıkların tamamen yeni bir biçimde tedavi edilmesini amaçlamaktadır (Schwab, 2016).

4.3. İş Gücü Piyasalarındaki Değişimler

Yalın Yönetim'in ve E4.0'ın temel amacı endüstrilerdeki verimliliği arttırmaktır. Yalın Yönetim, merkeze insanı koymaktadır. Sürekli iyileştirmelerin ancak insanla var olacağını savunmaktadır. Diğer taraftan E4.0 ise teknolojiye yaşanan ilerlemelerle birlikte ağır ve tehlikeli işlerin makinalar tarafından gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Ancak; teknolojik gelişmeler beraberinde çeşitli tartışmaları da getirmiştir. Bu noktada; iş gücü piyasasında yaşanan değişimler iki farklı açıdan değerlendirilmektedir. Birinci görüşü siyasetçilerden oluşan ve E4.0'a iyimser bakan ve çalışanlara yeni kapıların açılacağını ileri süren görüş oluşturmaktadır. İkinci görüşü ise teknik inovasyonların her zaman çalışanları işsiz bıraktığına inanan kutup oluşturmaktadır. Ancak; teknolojinin gelişmesiyle ortadan kalkan bu işlerin yerini büyük bir olasılıkla başka yerlerde ve alanlarda yeni işlerin alacağı inancı bulunmaktadır (Schwab, 2016). Yeni yapılan bir araştırmada teknolojinin gelişmesiyle birlikte en yüksek risk altında yer alan meslek gruplarının Tablo 5'te gösterilmiş olduğu gibi gerçekleşeceği düşünülmektedir (Frey ve Osborne, 2021).

Tablo 5. E4.0 çağında en çok risk altında bulunan meslekler ve etkilenme oranları

| Risk Oranı | Meslek |
|------------|---|
| %99 | Tele pazarlamacılar |
| %99 | Muhasebeciler |
| %98 | Sigorta eksperleri |
| %98 | Hakemler ve diğer spor görevlileri |
| %98 | Avukatlar |
| %97 | Restoranlarda/barlarda/kafelerde görevli garsonlar |
| %97 | Emlakçılar |
| %97 | Tarım sektöründe mevsimlik işçiler |
| %96 | Sekreterler ve idari asistanlar (hukuk, tıp ve idari işler hariç) |
| %94 | Kuryeler ve teslimatçılar |

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte en az risk altında olan meslekler ise Tablo 6'da gösterilmektedir (Schwab, 2016).

Tablo 6. E4.0 çağında en az risk altında bulunan meslekler ve etkilenme oranları

| Risk Oranı | Meslek |
|------------|---|
| %0,31 | Ruh sağlığı ve madde bağımlılığı alanında çalışan sosyal hizmet uzmanları |
| %0,40 | Koreograflar |
| %0,42 | Tıp pratisyenleri |
| %0,43 | Psikologlar |
| %0,55 | İnsan kaynakları yöneticileri |
| %0,65 | Bilgisayar sistemleri analistleri |
| %0,77 | Antropologlar ve arkeologlar |
| %1,00 | Deniz ve deniz mühendisleri |
| %1,30 | Pazarlama direktörleri |
| %1,50 | Üst düzey yöneticiler |

Tablo 5 ve 6 incelendiğinde; tekrarlayan ve kas gücüne dayalı işlerde çalışan sayısının giderek azalacağı ve insanların daha yaratıcı işlerde ve insan onuruna yakışır alanlarda çalışacağı öngörülmektedir (Schwab, 2016). Esasen bu çalışmanın kökeni MIT araştırmacılarından Acemoglu ve Autor'un (2010) işlerdeki görevleri bir matriste organize etmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu matristeki eksenlerden biri manuel çalışma ile bilişsel çalışmayken diğeri ise rutin ve rutin olmayan çalışmalarla ilgilidir. Sosyal ve yaratıcı becerilere gereksinim duyulan işlerin E4.0 riskinin en düşük olduğu meslek grupları olduğu ifade edilmektedir. Bu durum zor zamanlarda karar verebilme yeteneğinin önemli bir beceri olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çağda; karmaşık problem çözme becerilerine, kişilerarası becerilere ve sistem uzmanlığına büyük ihtiyaç duyulmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2014).

4.4. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım

Bu yaklaşım Yalın Yönetim üzerine tasarlanmış bir yaklaşım olup; Dennis ve Detlef (2015), bunun nedenini olarak E4.0'ın Yalın Yönetim ile entegrasyonunun oldukça uygulanabilir bir yapıya sahip olmasını göstermektedir. Bu yaklaşım 11 madde altında ele alınmakta olup E4.0 ile beraberinde getirdiği fırsatlar değerlendirilmektedir. Bunlar:

4.4.1. Kayıplar

Yalın Yönetim'in en önemli ilkelerinden biri gerçekleştirilen faaliyetlerin 'değer' yaratan ve yaratmayan aktiviteler olarak sınıflandırılmasıdır. Kayıplar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Ohno, 1988):

- *Aşırı üretimler:* Müşterinin şu anda ihtiyaç duymuş olduğundan daha fazla üretilmesidir. Bu ürünler, depo kapasitesini kullanan ve ek iş oluşturan malzemelerdir.
- *Bekleme süreleri:* Bir makinanın ya da operatörün işlerinin engellenmesi sonucu oluşan kayıp türüdür. Bir makinanın, bir operatörün, elektronik ya da manuel olarak sağlanan bir bilginin beklenilmesi buna örnek verilebilir.

- *Taşımalar:* Yönetim ve lojistik açısından büyük çaba gerektiren ancak müşteriye hiçbir fayda sağlamayan taşımalardır.
- *Aşırı işlemler:* Sürecin gereksiz ve verimsiz adımlarını ifade eder. Yanlış veya ters sırada olan işlem adımları ve makinelerin uzun süre boştta kalmaları ve müşterinin talep etmediği işlemler için harcanan sürelerdir.
- *Stoklar:* Aşırı üretimin aksine, bu tür kayıplar hammadde ve/veya yarı mamul stoklarına odaklanır. Stoklar, süreçteki açıkların sonucu oluşur. Stokların mümkün olan en düşük seviyede olması beklenir.
- *Gereksiz hareketler:* Ürüne değer katmayan insan ve makine hareketleridir. Daha geniş anlamda, zaman alan toplantılar veya gereksiz verilerin toplanması gibi bir kuruluş içindeki çok çeşitli dahili görevler de bu tür israfa dahil edilebilir.
- *Kusurlu ürünler:* Ürün ya da süreçte meydana gelen hatalar dolayısıyla gerçekleştirilen faaliyetleri ifade eder. Tamirler, hurdalar ve ilk seferde doğru yapılmayan tüm aktiviteler örnek olarak verilebilir.

E4.0, kayıpların ortadan kaldırılması için birtakım fırsatlar sunmaktadır. Bu çağda ürünün kendisi bir veri olduğundan süreçle ilgili olarak daha fazla ve anlık bilgi elde edilebilmektedir. Bu nedenle; daha büyük partiler halinde üretimin gerçekleştirilmesi yerine daha küçük partilerle üretimin mümkün hale gelmesiyle kayıplar mümkün olan en az seviyeye indirgenebilmektedir.

4.4.2. Değer ekleme

Katma değer, bir hizmetin fiziksel olarak işlenmesi veya eklenmesiyle yaratılan değer artışını tanımlamaktadır. Firmalarda katma değer genellikle istihdam edilen çalışan sayısına göre belirlenir. Ancak; otomasyon seviyesi dikkate alınmadığında bu durum yanlış yorumlara neden olabilmektedir. Değer yaratmayı iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım, firma içinde kullanılan otomasyon derecesini artırarak manuel işlemleri azaltmaktır. Bunun için gerekli yatırımların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada E4.0, otomasyon konusunda Yalın Yönetimi desteklemektedir.

4.4.3. Tedarik süresi

Tedarik süresi (Lead time -LT), siparişin alınmasından ürünün bitmiş ürün envanterine ulaşmasına kadar geçen planlı süreyi ifade etmektedir (Schneckenreither ve ark., 2021). LT'yi azaltmak için ürünün bekleme süreleri dikkate alınmalıdır. En iyi durum, üretimin bir akış halinde gerçekleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Yalın Yönetim'de buna tek parça akış (one piece flow) denilmektedir. Bununla birlikte, bu tür üretim genellikle mekânsal ayırım, kararsız süreçler veya uzun kurulum süreleri gibi organizasyonel ve üretimle ilgili teknik engeller içermektedir. Bu nedenle, üretim süresindeki sürekli azalma, tüm üretim sisteminin kapsamlı bir analizinin yanı sıra bunun sonucu olan optimizasyonu gerektirmektedir.

4.4.4. Tam zamanında üretim

Tam zamanın üretim (On-time delivery), ürünün müşterinin istediği zamanda, miktarda ve yere teslim edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Tam zamanında teslimat oranını arttırabilmek için Yalın Yönetim'in dördüncü prensibi olan çekme sistemine göre üretim gerçekleştirilmektedir. Çekme, sonraki aşamaların müşteri talep etmeden hiçbir şekilde önceki aşamalara ürün ya da hizmet üretmemesini ifade etmektedir (Womack ve Jones, 2002). Ayrıca; tüm tedarik zinciri boyunca ürünler/malzemeler E4.0 teknolojilerinden biri olan RFID çiplerinin kullanılmasıyla tam zamanlı olarak izlenebilmekte ve gerektiğinde bu anlık bilgiye göre gerekli aksiyonlar alınabilmektedir.

4.4.5. Hata Oranı

Günümüz modern işletmelerinde ürünlerin/hizmetlerin kalitesi son derece önemli bir endişe kaynağı durumundadır. Sözleşme limitlerinin altında kalitede üretilen ürünler/hizmetler müşteri memnuniyetini azaltmakta, verimliliği düşürmekte ve iş operasyonlarının maliyetini arttırmaktadır. Kök nedenleri ortaya çıkarmak ve üretim hattındaki değişkenliği ortadan kaldırmak önem arz etmektedir. Bunun için oluşan hataların önceliklendirilmesi ve ortadan kaldırılması amacıyla; Pareto analizi, beş neden analizi (5Why) ve Ishikawa Diyagramı gibi yöntemler kullanılarak kök nedenler tespit edilmeye çalışılmaktadır (Tsou ve Chen, 2005). Hata oranı, kusurlu ürünlerin üretime giren toplam ürün adedine bölünmesiyle elde edilen oranı ifade etmektedir. Oranlar, milyonda hata sayısı (PPM²) cinsinden gösterilmektedir. Hata oranını mümkün olan en düşük seviyeye çekmek için birçok Yalın Yönetim tekniği kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanlarından başlıcaları aşağıda gösterilmiştir.

- *Poka Yoke*: Hata önleme anlamına gelen bu Yalın Yönetim tekniği Dr. Shigeo Shingo tarafından 1961 yılında geliştirilmiştir. Poka Yoke, uygunsuz kalitede ürünlerin üretilmesine neden olan faktörleri önlemek veya insandan kaynaklanan hataları ortadan kaldırmak için kullanılan süreç ekipmanları olarak tanımlanmaktadır. Poka Yoke tasarımı üretim cihazı, Dr. Shigeo Shingo'nun sıfır kalite kontrol konseptinin temellerinden birini oluşturmaktadır. Poka Yoke tasarımı, yeniden kusur üretme riskini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Kök nedenleri ortaya çıkarmak ve üretim hattındaki değişkenliği ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır (Tsou ve Chen, 2005).
- *TPM*: Japonya Tesis Bakım Enstitüsü (JIPM), 1971'de toplam üretken bakımı (Total productive maintenance- TPM) tanımlayan ilk kuruluştur. TPM, özellikle ekipmanın etkinliğini artırma yöntemleri yoluyla, üretim ortamının genel etkinliğini arttırmak için kullanılmaktadır. TPM, 1980'lerin sonlarında batı ülkelerinde daha popüler hale gelerek aktif bir şekilde uygulanmaktadır. TPM'nin uygulanması, kayıpları azaltmak için sürekli iyileştirme yöntemlerin uygulanmasını içermektedir. Ürünlere eklenen değer genellikle makine ve ekipmanı içermekte ve ekipmanla ilgili kayıpları iyileştirmeye odaklanmaktadır (Suryaprakash ve ark., 2021).

² $PPM = \frac{Kusurlu\ Adet}{Toplam\ Adet} * 1,000,000$

TPM'nin; önleyici bakım, kestirimci bakım ve proaktif bakım olmak üzere üç türü bulunmaktadır (Nakajima, 1988). Burada gerçekleştirilen aktivitelerle sorunun oluşmadan çözümünü hedeflemektedir.

- *FMEA*: Her ne kadar Yalın Yönetim'in bir aracı olarak ortaya çıkmamış olsa da Yalın Yönetim'in uygulandığı yerlerde çok aktif bir şekilde uygulanmaktadır. Hata türleri ve etkileri analizi (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA), potansiyel arızaların, hataların, olayların, vb. daha meydana gelmeden önce tespit edilebilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. FMEA, geriye dönük olarak gerçekleştirilen olay analizi ve kök neden analizlerinin aksine, arızaları tespit etmek için proaktif bir yaklaşım sunmaktadır (Anjalee ve ark., 2021). FMEA, hataları meydana gelmeden önce tespit edebildiği için havacılık, uzay, nükleer enerji, otomotiv, vb. endüstriler tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Ashley ve ark., 2010).

4.4.6. *Envanter taahhüdü*

Envanter taahhüdü, müşteriye cevap verebilmek için firmada tutulan ham madde, yarı mamul ve bitmiş ürünleri ifade etmektedir. Envanter taahhütleri mümkün olduğunca küçük tutulmaktadır. Klasik şirketler genellikle %40 ile %60 arasında bir portföye sahip olmaktadır. Üretimlerini optimize etmek için daha fazla zaman harcayan şirketler ise %2 ile %5 arasında envanter seviyelerine ulaşabilmektedir. Envanter seviyesini düşürmek için birtakım çalışmalar yapılabilir. Envanter, doğrudan üretim süresiyle ilgilidir. Üretim süresi ne kadar kısa olursa, aynı zamanda stok devir hızı o kadar yüksek olmaktadır. Envanter taahhüdü aynı zamanda hammaddelerin ikmal süresiyle de bağlantılıdır. Harici tedarikçilerden hammadde siparişi vermek ne kadar uzun sürerse, envanter ile ilgili parçaların temini o kadar fazla olmaktadır. Yüksek ürün çeşitliliği genellikle birçok parça numarası için belirli bir envanterin tutulması gerektiği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, depolanan parçaların değeri son derece yüksek olmaktadır. Hizmet yelpazesinin ayarlanması, envanteri azaltmak için genellikle hayati bir önem taşımaktadır. Müşteri gereksinimlerinden kaynaklı olarak ürün çeşitliliğinin fazla olması durumunda, katma değerli süreçlerin analiz edilmesi gerekmektedir (Regber ve Zimmermann, 2007).

4.4.7. *Değer akış haritalama*

VSM, üretim sürecinde ekipman, bilgi, zaman ve malzeme verimsizliklerinden kaynaklanan kayıpları tanımlayan, gösteren ve ölçen görsel bir yöntemdir (Ramsunder ve Olanrewaju, 2021). Aynı zamanda; sürecin güçlü ve zayıf yönlerinin yanı sıra gecikmelerin nedenlerinin, gereksiz işlerin ve maliyet faktörlerinin tanınmasına da izin vermektedir. E4.0 beraberinde kayıpların çözümü için önemli olanaklar sağlamakta olup ele alınması gereken çok sayıda gerekli belge ve doküman bilgi akışının sayısallaştırılması için önemli bir argüman sağlamaktadır. E4.0 ile gerçek zamanlı olarak kayıp verileri toplanabildiğinden VSM çalışmalarının etkinliğini daha da arttırmaktadır. Böylece; aksiyonların çok hızlı bir şekilde alınmasına olanak sağlamaktadır.

4.4.8. Takt zamanı

Henry Ford, otomobil imalatında montaj hattını tanıttığından beri üretim sistemleri firmanın istenen çıktı hızından ve mevcut işlem süresinden türetilen sabit bir takt zamanı etrafında inşa edilmektedir (Mönch ve ark., 2021). Takt zamanı (Takt time - TT), müşterinin bir ürünü teorik olarak kaç saniyede, dakikada veya saatte bir sipariş ettiğinin zaman değerini tanımlamaktadır. TT, ilgili üretim alanının kapasite kullanımı hakkında önemli açıklamalar sağlamaktadır. Buna dayanarak, daha fazla sipariş kabul etmek, kapasiteyi azaltmak veya kapasite oluşturmak için kararlar alınabilmektedir.

4.4.9. Hat dengeleme

İş ile ilgili ve doğrudan üretim süreçlerine kadar uzanan hat dengesi (Akış düzeni: Hat, U-şekli, vb.), tek parça akışı gerçekleştiriminin temelini oluşturmaktadır. Amaç, ilgili iş istasyonlarının zamanlarını sabit hızda çalışmayı mümkün kılacak şekilde koordine etmektir. Bu, belirli iş öğelerinin yeniden dağıtılması ve iş akışlarının optimize edilmesiyle sağlanabilmektedir. Benzer şekilde, değer katmayan faaliyetler ortadan kaldırılmakta ve/veya üretimi destekleyen işlemlere devredilmektedir. Çalışanların standart elektronik tablolar temelinde eğitilmesi, işin kapsamına, sırasına ve ilgili zaman değerlerine bağlı kalmak için ön koşulları yaratmaktadır. E4.0 iş sistemleriyle hat dengesi sırasında birkaç farklı değer akışının dikkate alınması gerekmektedir. E4.0'ın özelliklerinden biri, ürünlerin RFID'de depolanan dijital iş planına göre kaynaklarını bağımsız olarak planlamaktır. Örneğin; birden fazla ürünün aynı kaynağa erişmesi durumunda sistemde geçici darboğazlara yol açabilmektedir. Hat dengesi her zaman dinamik değerlendirmeler altında yapılmaktadır.

4.4.10. İş sırası analiz prosedürü şeması

İş sırası analiz prosedür şeması, değer yaratma ve kayıplar için döngüsel iş dizilerini analiz etmektedir. İş akış analizinin temelini TT oluşturmaktadır. Döngüsel bir iş dizisi için gereken süre bundan daha yüksekse acilen optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, iş akışı analizi prosedür şeması, iş istasyonlarının hat dengesi için temel olarak kullanılabilir. Bu durumda, ilgili üretim sürecinin tüm iş istasyonları kaydedilmektedir. Daha sonra, işi zamanında koordine etmek için temel oluşturan grup genel bakış tablosuna dönüştürülmektedir. E4.0 koşullarında prosedür şemasının kullanımı şu şekilde ele alınabilmektedir. İnsan-robot iş birliğinin planlanması için E4.0 yönleri altında iş akışı analiz prosedür şemasının kullanılması özellikle tavsiye edilmektedir. İnsan ve makine iş birliği optimum bir şekilde birbirine kenetlenmesi mümkün olacak şekilde ve ilgili diğer tarafı beklemekten kaçınacak şekilde birbiriyle koordine edilmektedir.

4.4.11. Detaylı süreç analizi

Detaylı süreç analizi, bir yandan bireysel özellikleri tasvir etmek ve süreçlerde iyileştirmeler sağlamak için değer akış analizi ile alınan süreçleri desteklemektedir. Öte yandan, hassas süreç analizi ile idari alanlardaki iş akışlarının kaydedilmesi için ideal biçim sağlamaktadır. Buradaki amaç ortaya çıkan

kayıp, kalite ve bilgi eksikliklerini gidermektir. Bu problemler, çeşitli yazılım sistemlerinin kullanılmasından meydana geldiği gibi ilgili adımdan önceki yüksek envanter seviyesi, uzun üretim süreleri ve sistemdeki kesintileri içermektedir. Amaç, yeni tasarlanan süreci takt zamanı ile tamamen uyumlu hale getirmektir. Süreç analizi, özellikle gereksiz veya yetersiz iletişim süreçlerini görünür kılmak için uygunluk sağlamaktadır. E4.0’da veri uyumluluğunu sağlamak, görselleştirme yoluyla şeffaflık oluşturmak veya güncel verileri sağlamak için büyük fırsatlar barındırmaktadır.

5. Sonuç

Japon endüstrilerinde elde edilen verimlik artışı tüm dikkatlerin buraya çevrilmesine neden olmuştur. Bunun nedeni araştırıldığında; bu verimlilik artışının sistematik bir yönetim felsefesinin kullanılmasından kaynaklandığı görülmektedir. Bu yönetim felsefesini batı dünyası Yalın Yönetim olarak adlandırırken; doğduğu yer olan Japonya’da ise Toyota Üretim Sistemi (Toyota Production System - TPS) olarak bilinmektedir. Yalın Yönetim, beş prensip üzerine kurulmuş bir yönetim felsefesidir. İlk prensip ‘değer’ olarak tanımlanmıştır. Değer, müşterinin para ödemeye istekli olduğu ve ürünün üzerinde dönüşüm sağlayan aktiviteler olarak tanımlanmaktadır. Bu aktivitelerin dışında kalan diğer tüm faaliyetler ise kayıplar olarak adlandırılmıştır ve Ohno’nun yedi muda kapsamına girmektedir. Muda’lar, üretim/hizmet verimini düşüren, hata oranlarını arttıran, müşteri şikayetlerine neden olan ve maliyetleri arttıran istenmeyen aktiviteler olup sistemden ivedilikle uzaklaştırılması gerekmektedir. İkinci prensip ise ‘değer akışı’dır. Burada; VSM’ler yapılarak süreçteki katma değerli ve katma değersiz aktiviteler tespit edilmekte ve Kaizen’lerle sistemden uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Üçüncü prensip ise ‘sürekli akış’tır. Sürekli akış, tanımlanan değer (malzeme ya da bilgi) tüm değer yaratan süreçler boyunca kesintiye uğramadan akışını sağlamaktır. Sürekli akışın sağlanması için tek parça akış sisteminin kurulması ve henüz hata oluşmadan olası risklerin analizi (FMEA, vb.) gerçekleştirilerek akışın kesintiye uğramasının engellenmesi ile sağlanmaktadır. Dördüncü prensip ise; ‘çekme sistemi’dir. Burada; iç ya da dış müşterinin talebi olmadan (Kanban, vb. ile) hiçbir şekilde herhangi bir malzemenin üretilmemesi ya da hizmetin sunulmaması amaçlanmaktadır. Son prensip ise ‘mükemmellik’tir. Mükemmellik her zaman bir işin daha iyi yapılma yolunun olduğunu ya da daha iyi bir sistemin uygulanabileceğini savunduğu adım olup; sürekli iyileştirme çalışmalarının bir kültür haline dönüşmesi hedeflenmektedir. Son zamanlara kadar Yalın Yönetim uygulayan kuruluşlar son derece başarılı sonuçlar elde etmekteydiler. Ancak; uygulamalar ve elde edilen tecrübeler Yalın Yönetim’inde sınırlarının olduğunu göstermektedir. Yalın Yönetim, Jidoka, Otonomasyon, TPM, SMED, vb. tekniklerle süreçleri optimize etmeye çalışmaktadır. Ancak; sınırlı teknoloji düzeyi, Yalın Yönetim tekniklerinin uygulanmasında yetersiz kalmaktaydı. Ancak; E4.0 çağı ile teknolojiye elde edilen gelişmeler Yalın Yönetim’in itici gücü haline gelmiş, daha başarılı ve kapsamlı uygulamaların yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum; Yalın Yönetim’in hedeflerine ulaşabilmesi için son derece pozitif bir etki yapmaktadır. Öte yandan; E4.0 dönüşümü içinde güçlü bir alt yapıya ihtiyaç duyulması Yalın Yönetim’in önemini tekrar ortaya

koymaktadır. Firmaların Yalın Yönetim alt yapısına sahip olmadan doğrudan E4.0 dönüşüm çalışmalarına başlaması dijital israfların üretilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum başarısızlıkla sonuçlanacak E4.0 projelerine neden olacaktır. Bu nedenle; firmalar, öncelikli olarak süreçlerini yalın hale getirmek ve katma değersiz işleri süreçlerinden uzaklaştırmaktadır. Eğer bu başarılırsa E4.0 dönüşümlerinde zafer elde etme olasılığı artacaktır.

Bu çalışmanın devamında E4.0 dönüşümlerinde kullanılan diğer bir yaklaşım olan ‘yukarıdan aşağıya yaklaşım’ ele alınacaktır. Bu yaklaşım, değişim yönetimi, yetkinlik yönetim sistemleri, operasyonel yetkinlik, yetkinlik seviyesi, yetkinlik kartları, yetkinlik profilleri, vb. kavramlar üzerine kuruludur. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi Türkiye endüstrisi ve akademisi için önemli bir kaynak teşkil edecektir.

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

- Acemoglu D., Autor D. Skills, tasks, and technologies: Implications for employment and earnings. NBER Working Paper Series, Paper No: 16082; 2010. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w16082/w16082.pdf
- Adam S., Chola E., Jens W. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. Journal of Industrial Engineering and Management 2016; 9(3): 811–833.
- Ahuett-Garza H., Kurfess T. A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart Manufacturing. Manufacturing Letters 2018; 15(Part B): 60-63.
- Anjalee JAL., Rutter V., Samaranyake NR. Application of failure mode and effects analysis (fmea) to improve medication safety in the dispensing process – A study at a teaching hospital, Sri Lanka. BMC Public Health 2021; 21: 1430.
- Ashley L., Armitage G., Neary M., Hollingsworth G. A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: Making the most of the team and its meetings. The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety 2010; 36(8): 351-358.
- Blayone TJB., VanOostveen R. Prepared for work in industry 4.0? modelling the target activity system and five dimensions of worker readiness. International Journal of Computer Integrated Manufacturing 2021; 34(1): 1-19.

- Brunheroto PH., Tomanek DP., Deschamps F. Implications of industry 4.0 to companies' performance: A comparison between Brazil and Germany. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 2021; 18(3): 1-10.
- Brynjolfsson E., McAfee A. *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. USA: Norton&Company; 2014.
- Cil I., Turkan YS. An ANP-based assessment model for lean enterprise transformation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2013; 64: 1113–1130.
- Çetin Gerger G. tax services and tax service providers' changing role in the IoT and Aml Environment. In *Guide to Ambient Intelligence in the IoT Environment: Principles, Technologies and Applications*. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2019.
- Dennis K., Detlef Z. Lean automation enabled by Industry 4.0 technologies. *IFAC Papersonline* 2015; 48(3): 1870–1875.
- Dickmann P. *Schlanker materialfluss: Mit Lean Production. Kanban und Innovationen*. Heidelberg: Springer; 2007. (in German)
- Emiliani B. Lean management failure at HMRC. *Management Services* 2011; 55(4): 13-15.
- Ferreira CM., Serpa S. Society 5.0 and social development. *Management and Organizational Studies* 2018; 5(4): 26-31.
- Frey CB., Osborne MA. *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation*. Oxford 2021.
https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf
- Fullerton RR., Kennedy FA., Widener SK. Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. *Journal of Operations Management* 2014; 32(7-8): 414-428.
- Gerger A. Blockchain technology in the automotive industry: use cases and statistical evaluation. In *Industry Use Cases on Blockchain Technology Applications in IoT and the Financial Sector*. Hershey: IGI Global; 2021b.
- Gerger A. Endüstri 4.0 üretim sürecinde süreç değişkenliğinin optimizasyonunda Heijunka yöntemi. *İzmir Democracy University Social Sciences Journal* 2019b; 2(1): 1-17.
- Gerger A. Seviyelendirilmiş süreç denetimi (LPA): havacılık endüstrisinde bir uygulama örneği. *Malzeme Teknolojisi ve Tasarım Bilimlerine Yeni Yaklaşımlar*; İstanbul: Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları; 2021c.
- Gerger A. Technologies for connected government implementation: success factors and best practices. In *Web 2.0 and Cloud Technologies for Implementing Connected Government*. Hershey: IGI Global; 2021a.
- Gerger A. *Toplum 5.0 ve Manisa. Manisa Ekonomisi ve Vizyonu*; Ankara: Detay Yayıncılık; 2019a
- Hines P., Holweg M., Rich N. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management* 2004; 24(10): 994–1011.

- Isaiah D. Automotive grade graphene: the clock is ticking. *Automotive World* 2015. <http://www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking/>
- Jasti NVK., Kodali R. Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research* 2015; 53(3): 867–885.
- Kamble S., Gunasekaran A., Dhone NC. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research* 2020; 58(5): 1319–1337.
- Kolberg D., Knobloch J., Zühlke D. Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research* 2017; 55(10): 2845–2856.
- Kolberg D., Zühlke D. Lean automation enabled by industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine* 2015; 48(3): 1870–1875.
- Kumar N., Mathiyazhagan K. Sustainability in lean manufacturing: A systematic literature review. *International Journal of Business Excellence* 2020; 20(3): 295-321.
- Lasi H., Fettke P., Kemper HG., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0. *Business & Information System Engineering* 2014; 6(4): 239–242.
- Lean Enterprise Institute. What is lean? 2022. www.lean.org: <https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/>
- Mayer-Schönberger V., Cukier K. *Lernen mit big data: die zukunft der bildung*. Munich: Redline Wirtschaft 2014.
- Mönch T., Huchzermeier A., Bebersdorf P. Variable takt times in mixed-model assembly line balancing with random customisation. *International Journal of Production Research* 2021; 59(15): 4670-4689.
- Mrugalska B., Wyrwicka MK. Towards lean production in Industry 4.0. *Procedia Engineering* 2017; 182: 466-473.
- Nakajima S. *Introduction to TPM: total productive management*. Portland: Productivity Press; 1988.
- Ohno T., Bodek N. *The Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland: Productivity Press; 1988.
- Pearce A., Pons D. Advancing lean management: The missing quantitative approach. *Operations Research Perspectives* 2019; 6(2019): 1-14.
- Pereira AC., Dinis-Carvalho J., Alves AC., Arezes P. How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions* 2019; 47(4): 810-822.
- Pereira C., Sachidananda HK. Impact of Industry 4.0 technologies on lean manufacturing and organizational performance in an organization. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 2021; 15(4): 1-12.
- Ramsunder K., Olanrewaju O. Energy analysis via value stream mapping: A case study of an automotive weld plant. *Orion* 2021; 37(2): 77–94.

- Ray YZ., Xun X., Eberhard K., Stephen TN. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0. *Engineering* 2017; 3(5): 616–630.
- Regber H., Christian M. Introduction to Industry 4.0 – core elements and business opportunities. Denkendorf: Festo Didactic; 2017.
- Regber H., Zimmermann K. Change-Management in der Produktion: Prozesse effizient verbessern im Team (2. Ed. b.). Landsberg am Lech: Mi; 2007.
- Rossini M., Costa F., Tortorella GL., Portioli-Staudacher A. The interrelation between industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2019; 102(9-12): 3963–3976.
- Rossit DA., Tohmé F., Frutos M. Industry 4.0: Smart scheduling. *International Journal of Production Research* 2019; 57(12): 3802–3813.
- Rotter T., Plishka C., Lawal A., Harrison L., Sari N., Goodridge D., Kinsman L. What is lean management in health care? development of an operational definition for a cochrane systematic review. *Evaluation & The Health Professions* 2019; 42(3): 366-390.
- Roy D., Mittag P., Baumeister M. Industrie 4.0 - einfluss der digitalisierung auf die fünf lean-prinzipien. *Production Management* 2015; 20(2): 27–30.
- Sanders A., Elangeswaran C., Wulfsberg J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management* 2016; 9(3): 811–833.
- Sanjib K. Implementation of lean manufacturing through Industry 4.0. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2018; 9(10): 1418–1423.
- Schneckenreither M., Haeussler S., Gerhold C. Order release planning with predictive lead times: A machine learning approach. *International Journal of Production Research* 2021; 59(11): 3285-3303.
- Schwab K. Die Vierte Industrielle Revolution. München: Springer; 2016.
- Shah D., Patel P. Productivity improvement by implementing Lean Manufacturing tools in manufacturing industry. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2018; 5(3): 3794–3798.
- Shah R., Ward PT. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operation Management* 2007; 25(4): 785–805.
- Shin D., Alam MS. Lean management strategy, and innovation: moderation effects of collective voluntary turnover and layoffs. *Total Quality Management & Business Excellence* 2022; 33(1-2): 202 - 217.
- Sinay J., Kotianova Z. Automotive industry in the context of Industry 4.0 strategy. *Trans. VSB Tech. Univ. Ostrava, Safety Eng. Series* 2018; 13(2): 61-65.
- Sony M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research* 2018; 6(1): 416-432.

- Suryaprakash M., Prabha MG., Yuvaraja M. Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using Tpm. *Materials Today: Proceedings* 2021; 46(2021): 9348–9353.
- Tiep NC., Oanh TT., Thuan TD., Tien DV., Ha TV. Industry 4.0, Lean Management and Organizational Support: A case of supply chain operations. *Polish Journal of Management Studies* 2020; 22(1): 583-594.
- Tsou JC., Chen JM. Dynamic model for a defective production system with Poka Yoke. *Journal of the Operational Research Society* 2005; 56(7): 799-803.
- Villalba-Diez J., Zheng X., Schmidt D., Molina M. Characterization of Industry 4.0 lean management problem-solving behavioral patterns using EEG sensors and deep learning. *Sensors* 2019; 19(2841): 1-27.
- Womack JP., Jones DT. *Yalın Düşünce* (2 b.). (N. Aras, Çev.) İstanbul: Sistem Yayıncılık; 2002.
- World Economic Forum. Deep shift technology tipping points and societal impact. World Economic Forum.; 2015. <https://www.weforum.org/reports/deep-shift-technology-tipping-points-and-societal-impact/>
- Yang J., Liu Y. Application of data mining in the evaluation of enterprise lean management effect. *Hindawi Scientific Programming* 2021; 2021: 1-13.
- Zezulka F., Marcon P., Vesely I., Sajdl O. Industry 4.0: An introduction in the Phenomenon. *IFAC-PapersOnLine* 2016; 49 (25): 8-12.
- Zhou K., Liu T., Zhou L. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery 2015: 2147–2152.

Türkiye’de Yapay Zekâ Alanında Yazılmış Yüksek Lisans Tezlerinin İncelenmesi

Ayşe ALKAN^{1*}, Onur SEVLİ²

¹Samsun R.K.Bilim ve Sanat Merkezi, 55070, Samsun

²Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur

¹ <https://orcid.org/0000-0002-9125-1408>

² <https://orcid.org/0000-0002-8933-8395>

*Sorumlu yazar: ayse.alkan55@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.01.2022

Kabul tarihi: 18.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Yapay zekâ

Bilimsel araştırma

Tez

Yüksek Lisans

ÖZ

Teknolojide yaşanan ilerlemelerden biri olan yapay zekâ insan yaşamında önemli gelişmelerden biridir. Buhar makineleri, elektrik, arabalar, bilgisayarlar, internet tarihi gelişim süreci içerisinde birer devrim niteliği taşıdığı gibi, yapay zekâ da yeni bir çağı başlatacak devrim niteliğinde bir teknolojidir. Yapay zekâ temelinde yer alan karmaşık matematikten dolayı doğru yaklaşımlar uygulandığı takdirde bireylerin uygulama yapabileceği disiplinler arası bir bilim dalıdır. Bu çalışmanın amacı; 2017-2021 yılları arasında Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında “yapay zekâ” konusunda yapılmış olan yüksek lisans tezlerinin incelenmesidir. Bu çalışma betimsel bir özellik göstermektedir ve veri toplama tekniği olarak doküman incelemesi kullanılmıştır. Veri analizi olarak içerik analizi yapılmıştır. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi veri tabanında 84 yüksek lisans tezine ulaşılmıştır ancak 5 tezin erişim engelinden dolayı 79 tez çalışma sorularına göre analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda sağlık, ekonomi, bilgisayar oyunları, verimlilik, optimizasyon, saldırı tespiti, metin madenciliği ve doğal dil işleme, görüntü işleme gibi konularda daha çok yönelim olduğu söylenebilir. Çalışma sonuçlarının araştırma yapacak araştırmacılara rehberlik edeceği düşünülmektedir.

Examination of Master's Thesis Written in the Field of Artificial Intelligence in Turkey

Reviews

Article History:

Received: 25.01.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Artificial intelligence

Scientific research

Thesis

Master's

ABSTRACT

Artificial intelligence, which is one of the advances in technology, is one of the important developments in human life. As steam engines, electricity, cars, computers, and the internet are revolutionary in the historical development process, artificial intelligence is a revolutionary technology that will start a new era. Due to the complex mathematics on the basis of artificial intelligence, it is an interdisciplinary science that individuals can practice if the right approaches are applied. The aim of this study; It is the examination of master's theses on "artificial intelligence" made in the Department of Computer Engineering between 2017-2021. This study shows a descriptive feature and document analysis was used as a data collection technique. Content analysis was performed as data analysis. 84 master's theses were reached in the database of the Council of Higher Education (YÖK) National Thesis Center, but 79 theses were analyzed according to the study questions due to the access barrier of 5 theses. As a result of the research, it can be said that there are more trends in health, economy, computer games, efficiency, optimization, intrusion detection, text mining and natural language processing, image processing. It is thought that the results of the study will

To Cite: Alkan A., Sevlı O. Türkiye’de Yapay Zekâ Alanında Yazılmış Yüksek Lisans Tezlerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 931-947.

1. Giriş

Dijital teknolojiler her geçen gün hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. Kökenleri İngiliz bilgisayar bilimcisi Alan Turing’in 'Makineler düşünebilir mi?' sorusunu sorduğu 1950'lere kadar (Turing, 1950). Uzanan yapay zekâ teknolojik ilerlemenin getirdiği önemli gelişmelerden biridir. Yapay zekâ teknolojileri ile bilgisayarlar ve bilgisayar türevi cihazların insanlar gibi öğrenerek kararlar almasını sağlayan çalışmalar yürütülmektedir. Yapay zekâ ile eldeki verileri yorumlanarak karmaşık sorunların makineler yardımıyla çözülmesi sağlanmaya çalışılmakta ve ayrıca makineleri otonom kararlar alabilecek hale getirmek amaçlanmaktadır. Günümüzde yapay zekâ araştırmaları sonucu günlük hayatımıza uzman sistemler, yapay sinir ağları, doğal dil işleme çözümleri, robotik sistemler gibi uygulamalar girmiştir. Farkında olmasak da yapay zekâ hayatın her alanına yayılmış ve yaşamın içinde pek çok yerinde karşımıza çıkmaktadır. Örneğin; arama motorlarında sorgulama yaparken sonuçların filtrelenmesi, navigasyon sistemleri ile en kısa rotanın tespit edilmesi, alışveriş sitelerinin kullanıcı ilgi alanlarına göre tavsiyeler sunması, akıllı telefonlardaki yüz tanıma ve ses tanıma teknolojileri, kelime işlemcilerin yanlış yazım önerileri, sağlık alanındaki bulguları ve radyolojik görüntüleri analiz ederek teşhis koyan sistemler, sürücüsüz otomobiller bunlardan sadece bazılarıdır.

Yapay zekâ; düşünme, yorumlama, öğrenme gibi üst düzey bilişsel süreçlerin ve bir problem karşısında bilgiler toplayan, çözüm üretebilen bilgisayarlar tarafından kontrol edilen bir makine tarafından gerçekleşmesini sağlayan sistemlerdir (Sağiroğlu vd, 2003; Coppin, 2004; Nabiye, 2012; Şen, 2018). Yapay zekâ çalışmaları insan beyni ve zekâsının çalışması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Beyin ile bilgisayar arasındaki benzerliklerin ve farklılıkların çözümlenmesinin yapay zekâ çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Sinir hücrelerinden (nöron) oluşan beyin Solomon'a (2013) göre bilinen en karmaşık mekanizmadır. Beyinde 100 milyarın üzerinde sinir hücresi bulunduğu düşünülmektedir. Beyindeki nöron aktiviteleri örnek alınarak yapay sinir ağı teknolojileri temelinde problem çözümü ve bilgi akışı sağlanmaya çalışılmaktadır. İnsan düşünme ve öğrenme sürecini temel alan ve günümüz teknolojisinin nabzını tutan yapay zekâ uygulamaları sabit olarak kodlanmış kural tabanlı sistemlerden farklı olarak mevcut durumlardan yola çıkarak farklı durumlara nasıl adapte olunabileceği, nasıl yaratıcı olunacağı, nasıl öğrenileceği öğretilmektedir. Böylece algoritmalar farklı türdeki pek çok veri üzerinden genellemeler yaparak kendisi öğrenebilmekte ve duruma özgü çözümler üretmektedir.

Yapay zekâ destekli sistemler tasarlanırken programcı tarafından neyin yapılacağını sabit olarak kodlanması yerine bilgisayarın veri üzerinden nasıl çıkarımlar yapabileceği öğretilir. Verinin önemli olduğu yapay zekâ sistemlerinde bilgisayara nasıl öğrenmesi gerektiği öğretilmekte ve veri üzerinden bir sonuca ulaşılmaktadır. Alpaydın (2013) da yeterli miktarda veri örneği mevcutsa, yapay öğrenen

bir algoritma ile geçmiş deneyimlerden yola çıkarak geleceği yordayan uygulamalar geliştirilebileceğini belirtmektedir. Yapay zekâ; sağlık, bankacılık, endüstri, otomasyon, finans, tıp, eğitim gibi farklı pek çok alanda hızlı gelişim ve dönüşümlerin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu alandaki gelişimin etkilerinin akademik alanda da hızla yer almasından dolayı bu araştırmada da yapay zekâ alanında yapılmış olan yüksek lisans tezleri incelenmeye değer bulunmuştur.

1.1. Araştırmanın Önemi

Bilim ve teknolojiye hızlı gelişmeler ile doğru orantılı bir gelişim gösteren yapay zekâ konusu akademik çalışmaların da bu alanda ivme kazanmasını sağlamıştır. Yapay zekâ konusunda yazılmış tez çalışmalarının analizini yapmanın gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılara yol gösterici olacağı öngörülmektedir. Bu amaçla Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi veri tabanında yer alan 2017-2021 yılları arasındaki son beş yılı kapsayan, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında “yapay zekâ” temasını içeren toplam 84 adet yüksek lisans tezinin, kamu erişimine açık olan 79 adedi incelenmiştir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; 2017-2021 yılları arasındaki Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yapay zekâ ile ilgili yüksek lisans tezlerinin incelenmesidir. Bu amaç kapsamında araştırmacıların yapılmış olan çalışmaları bir bütün halinde inceleyebilmesi ve benzer çalışmalar yerine farklı alanlara yönelebilmesi hedeflenmektedir. Çalışmada belirtilen amaca bağlı olarak aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır:

- 1- Tezlerin Yıllara Göre Dağılımı Nasıldır?
- 2- Tezlerin Üniversitelere Göre Dağılımları Nasıldır?
- 3- Tezlerin Yazıldığı Dil'e göre Dağılımı Nasıldır?
- 4- Tezlerin Yürütücüsü olan Danışmanların Unvanlarına Göre Dağılımı Nasıldır?
- 5- Tezlerde Yıllara Göre Çalışılan Konuların Dağılımları Nasıldır?

2. Yöntem

2.1. Araştırmanın Modeli

Bu çalışma nitel araştırma deseninde ve tarama modelinde tasarlanmış betimsel özellik gösteren bir meta analiz çalışmasıdır. Yıldırım ve Şimşek (2008) nitel araştırmaları; gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama tekniklerinin kullanıldığı; olaylara ve olgulara müdahale edilmeden kendi doğal ortamında incelendiği araştırmalar olarak tanımlanmaktadır. Karasar (2012) da tarama modellerini durumu olduğu gibi betimleyen yaklaşımlar olarak ifade etmektedir. Yapılan çalışmada da araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar incelendiği için çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

2.2. Verilerin Toplanması

Nitel araştırma deseni ile çalışılan bu çalışmada veri toplama tekniği olarak doküman incelemesi kullanılmıştır. Verilere Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi (YÖK) veri tabanından erişilmiştir. “Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı nda “yapay zekâ” anahtar sözcüğü ile 2017-2021 yılları arasında yazılmış yüksek lisans tezlerine ulaşılmıştır. Bu tarama sonucu 84 yüksek lisans tezine ulaşılmıştır. Ancak; 5 tezin erişim engelinden dolayı 79 tez çalışma kapsamında incelenmiştir. Veriler araştırmacılar tarafından araştırmanın amaçları doğrultusunda hazırlanan form vasıtasıyla toplanmıştır.

2.3. Verilerin Analizi

Bu çalışmada verilerin analizinde nitel araştırma yaklaşımı analiz yöntemlerinden biri olan içerik analizi kullanılmıştır. İçerik analizlerinde araştırma sorularına yönelik sıklık, yoğunluk gibi özellikler belirlenmektedir (Neuman, 2010). İçerik analizi yöntemi ile niceliksel verilere ulaşmak hedeflenmektedir (Çilingir, 2017). Bu çalışmada da araştırma soruları ile ilgili verilere ulaşabilmek ve lisansüstü tezlerin mevcut durumunu belirlemek için içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Elde edilen bulgular frekans (f) ve yüzde (%) olarak tablolar halinde sunulmuştur.

3. Bulgular

Bu bölümde 2017-2021 yılları arasında yazılmış Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nde Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda bulunan “yapay zekâ” anahtar kelimesi kapsamında hazırlanan tezlerden elde edilen bulgular frekans ve yüzdeleri verilerek gösterilmiştir.

Tablo 1. Yüksek Lisans Tezlerinin Genel Özellikleri

| | | f | % |
|---------------------------|------------------|----|------|
| YIL | 2017 | 8 | 10.1 |
| | 2018 | 11 | 13.9 |
| | 2019 | 29 | 36.7 |
| | 2020 | 20 | 25.3 |
| | 2021 | 11 | 13.9 |
| DİL | Türkçe | 53 | 67 |
| | İngilizce | 25 | 31,6 |
| | Kırgızca | 1 | 1.2 |
| Danışman Hocaların Unvanı | Prof.Dr. | 17 | 21.5 |
| | Doç.Dr. | 26 | 32.9 |
| | Dr.Öğretim Üyesi | 36 | 45.5 |

Tablo 2. Yüksek Lisans Tezlerinin Üniversitelere Göre Dağılımı

| Üniversite | f |
|--|---|
| İstanbul Teknik Üniversitesi | 9 |
| Selçuk Üniversitesi | 6 |
| Beykent Üniversitesi | 4 |
| İstanbul Aydın Üniversitesi | 4 |
| Ondokuz Mayıs Üniversitesi | 4 |
| Kütahya Dumlupınar Üniversitesi | 3 |
| İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Üniversitesi | 3 |

| | |
|--|---|
| Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi | 3 |
| Maltepe Üniversitesi | 3 |
| Süleyman Demirel Üniversitesi | 2 |
| İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü | 2 |
| Yalova Üniversitesi | 2 |
| Ankara Üniversitesi | 2 |
| Eskişehir Osmangazi Üniversitesi | 2 |
| Gazi Üniversitesi | 2 |
| Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi | 2 |
| Dokuz Eylül Üniversitesi | 2 |
| Karabük Üniversitesi | 2 |
| Fırat Üniversitesi | 2 |
| İstanbul Üniversitesi | 1 |
| Yıldız Teknik Üniversitesi | 1 |
| Anadolu Üniversitesi | 1 |
| İzmir Katip Çelebi Üniversitesi | 1 |
| Marmara Üniversitesi | 1 |
| Çukurova Üniversitesi | 1 |
| Dumlupınar Üniversitesi | 1 |
| Atatürk Üniversitesi | 1 |
| Düzce Üniversitesi | 1 |
| İstanbul Okan Üniversitesi | 1 |
| Pamukkale Üniversitesi | 1 |
| Galatasaray Üniversitesi | 1 |
| TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi | 1 |
| Orta Doğu Teknik Üniversitesi | 1 |
| Hacettepe Üniversitesi | 1 |
| Kırgızistan-Manas Üniversitesi | 1 |
| Akdeniz Üniversitesi | 1 |
| İskenderun Teknik Üniversitesi | 1 |
| Atılım Üniversitesi | 1 |
| Bahçeşehir Üniversitesi | 1 |

2017-2021 yılları arasında yapılan yüksek lisans tezlerinin genel özellikleri Tablo1’de gösterilmektedir. Tablo 1 ve Tablo 2’deki veriler incelendiğinde toplamda 79 yüksek lisans tezinin %36.7 oranla en fazla tez 2019 yılında yapılmış olduğu görülmektedir. 53 tez Türkçe, 25 tez İngilizce, 1 tez de Kırgızca yazılmıştır. 36 tezin danışmanlığı “Dr. Öğretim Üyesi” ünvanlı akademisyenler tarafından yürütülmüştür. En fazla tez İstanbul Teknik Üniversitesi’nde ve akabinde Selçuk Üniversitesi’nde yapılmıştır.

3.1. 2017 Yılında Yazılan Tezler

2017 yılında toplam 8 tane yüksek lisans tezi yazılmıştır. Aydın (2017) tarafından yürütülen çalışmada metni veri kaynağı olarak dikkate alan veri madenciliği üzerinde çalışmıştır. Çalışmasında GSM firmaları dikkate alınarak müşteri şikâyetlerini anlamlandırıp ölçümlemek amaçlanmıştır. Saruhan Özdağ (2017) yapmış olduğu araştırmasında özellik seçim yöntemi olarak bilgi kazanımı ve özellik çıkarım yöntemi olarak da temel bileşen analizi kullanılarak doğruluk oranları üzerindeki etkileri gözlemlenmiş ve saldırı tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarından yapay bağıklık sistemi (YBS) kullanılmıştır. Aygün’ün (2017) çalışmasında derin öğrenme yöntemleri kullanılarak, NSL-

KDD veri kümesi üzerinde anomali tespiti tabanlı ağ saldırı tespiti yapılmıştır. Karabina (2017) da tez kapsamında oluşturulan veri seti üzerinde derin öğrenme ağının da dâhil edildiği bir dizi yapay zekâ tekniği ile konuşmacıların cinsiyet, yaş, boy ve kilolarının tahmini sağlanmıştır. Aktaş (2017) çalışmasında doğal dil işleme kullanarak eklerinden ayrılmış ağ terimlerini içeren bir Wordnet ontolojisi oluşturularak, ontolojide bulunan iki terim arasındaki bağlantı hesaplanmıştır. Baştuğ (2017) çeşitli sezgisel optimizasyon algoritmalarının performanslarını karşılaştırmaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. İlhan (2017) araştırmasında Monte Carlo Ağaç Arama (Monte Carlo Tree Search, MCTS) algoritması ile video oyunlarındaki yapay zekâ sistemlerinin uzağı görememe, oyuna özgü bilgilerden yararlanamama gibi zayıflıklarını analiz edip, bu zayıflıkları özgün karma bir yöntem ile ele almıştır. Topçu (2017) tezinde gerçek zamanlı strateji oyunları için en yeni çok objektifli evrimsel algoritma (NSGAIII) kullanarak, otomatik harita eskizleri oluşturma üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yazılmış tezler genel olarak incelendiğinde derin öğrenme ve veri madenciliği üzerinde çalışıldığı söylenebilir.

3.2. 2018 Yılında Yazılan Tezler

2018 yılında toplam 11 tane yüksek lisans tezi yazılmıştır. Okyay (2018) yapmış olduğu çalışmada ön muhasebe için kullanılan ETA, NETSİS, gibi muhasebe yazılımlarının veri tabanlarından okudukları veri setlerinin genetik algoritmalar ile yorumlanması yoluyla şirketin genel performansı ve şubelerinin performansları hakkında mali bütçe ve stok yatırım bütçesi tahmini, yatırımlarının nasıl şekillenmesi gerektiği konusunda önerilerde bulunmuştur. Aytaç (2018) hızlı servis restoranları için, pil ömrü, performans, gecikme, güvenlik, yerinde erişilebilirlik, atık azaltma ve hizmet optimizasyonu sağlayabilmek için farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak bir takım tahminler, alarmlar ve akıllı kararlar verilmeyi sağlayan bir sistem önermiştir. Tokyüz (2018) yapay sinir ağları yöntemi ile birlikte önerilen melez (hibrit) sistem kıyaslanarak kalp ve damar hastalıklarının tedavisinde hastanın durumunun önceden tahminini sağlamak konusunda çalışmıştır. Çine (2018) mantıksal önermeler üzerinden çıkarımlar üretmeye yönelik bir yapay zekâ çerçevesi geliştirmiştir. Abusabra (2018) e-alışveriş platformu kullanıcılarına ve moda tasarımcılarına desen ve renk özelliklerinin değerlendirilerek ilgili kıyafet önerilerini görüntülemelerinde yardımcı olacak mobil bir uygulama geliştirilmiştir. Tül (2018) çalışmasında çoklu kısıtlara sahip olan test sayfası oluşturma problemine sezgisel bir yaklaşım ile çözüm aranmış, aynı zamanda insan iş gücü ve zaman kaybının azaltılması amaçlamıştır.

İnceoğlu (2018) bir robot üzerinde yer alan birden fazla sensörden elde edilen bilgiyi kullanarak eylem yürütme senaryolarında oluşan hataların tespit edilmesi konusunda Saklı Markov Modeli (SMM) kullanan bir yöntem önermiştir. Mhmood (2018)'un çalışmasında yapay alg algoritması (YAA), geri yayılım yerine yapay sinir ağı (YSA), eğitim süreci olarak önerilmiştir. Kaya (2018) akciğer zarı kanseri hastalığının teşhisi için bulanık mantık yöntemleri ve yapay sinir ağlarının entegrasyonundan oluşan bir yaklaşım olan ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) ile bulanık bir çıkarım

sisteminin tasarlanması üzerinde çalışmıştır. Akgün (2018) web üzerinden elde edilen çeşitli tiplerdeki veriyi makine işlenebilir ve bilgi alanlarına hazır duruma getirmek için anlamlı bir hale dönüştüren uygulama mimarisi sunmaya çalışmış ve sonrasında hazırlanmış anlamsal ve istatistiksel içeriklerden kullanıcının bilgi ihtiyaçlarına erişimi kolaylaştıracak bilgi çıkarımları yapmak konusunda çalışmıştır. Nalçakan (2018) Alzheimer hastalarına ve normal kontrol hastalarına dair veritabanından alınan MRI görüntüleri veri kümesi derin öğrenme yöntemlerinden üç boyutlu evrişimli sinir ağları için eğitim ve test verisi olarak kullanılarak Alzheimer hastalığının teşhisi için bir yapay zekâ modeli önermiştir. Yazılmış tezler genel olarak incelendiğinde farklı hastalıkların tahminlemesi üzerine çalışıldığı söylenebilir.

3.3. 2019 Yılında Yazılan Tezler

2019 yılında toplam 29 tane yüksek lisans tezi yazılmıştır. Aktürk (2019) çalışmasında hisse senedi piyasasının genel bir göstergesi olan BIST100 endeksinin bir gün sonraki kapanış fiyatı ve yönünü farklı regresyon teknikleri kullanarak tahminlemeye çalışmıştır. Abdullah (2019) kimlik belgesi görüntüsünü analiz etmek için karakter tanıma ve doğal dil işleme yöntemlerini kullanmıştır. Ermutaf (2019) çalışmasında şirketlerin sık karşılaştığı konteyner yükleme ve rotalama problemine yönelik bir çözüm ortaya koymak amacıyla ve genetik algoritma destekli bir matematiksel model önermiştir. Merdan (2019) çalışmasında yapay sinir ağlarında geleneksel geriye yayımlı öğrenme karşısında öğrenme matrisi değerlerinin Nelder-Mead optimizasyon yöntemi kullanılarak güncellenmesi konusunda çalışmış ve bu yöntemin daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Bilecen (2019) bir askeri arama, kurtarma senaryosunun gerçekleştirilmesini konu alan bir simülasyon oyunu geliştirmiş, farklı stratejilerle en iyi sonuçların bulunması için çarpık girdap (Vortex) Algoritması kullanarak sonuçları genetik algoritmalarla elde ettiği bulgularla karşılaştırmıştır. Yunusova (2019) çalışmasında, Türkiye 'nin elektrik enerjisi tüketimi modellenmesi için yapay zekâ tekniği olarak ağaç-tohum algoritmasının (Tree-seed algorithm- TSA) otomatik programlama için sunulan yeni versiyonu ağaç-tohum programlaması (Tree-seed programming- TSp) yöntemini kullanmıştır. Süer (2019) meme kanseri olan hastaların koltuk altı lenf durumunu içeren klinik ve patolojik verileri, KMeans, uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi, genetik algoritma ve yapay sinir ağları kullanarak sınıflamış ve meme kanseri lenf nodu durumu teşhisi için kullanılabilirliğini analiz etmiştir. Tozlu (2019) aktarma-arındırma yapılacak bilanço kalemlerinin tespitini hızlı bir şekilde yaparak finansal analistlere yardımcı olmaya çalışmıştır. Bölükbaş (2019) makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak kişinin vücut kitle indeks bilgisini, yüz resminden herhangi bir boy ve kilo bilgisi olmaksızın tahmin etmeye çalışmıştır. Kuş (2019) çalışmasında benzer çalışmalardan farklı olarak “Mikrokanonikal Optimizasyon” yöntemini kullanarak oluşturduğu farklı evrişimsel sinir ağları ile hiper-parametreleri optimize etmeye çalışmıştır. Aydın (2019) enflasyonu etkileyen faktörleri ortaya koymak amacıyla elde edilen veri seti üzerinden Anfis ve Kmeans aracılığıyla en etkili girdilerin seçimine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kutlu (2019) bir ağa bağlı olarak çalışan yazıcıların periyodik sayaç değerleri ile

oluşturduğu veri seti üzerinde makine öğrenmesi teknikleri kullanarak verimliliğin arttırılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Başcı (2019) gezgin bir robot üzerine yerleştirdiği sensörlerden elde ettiği sıcaklık verilerini kullanarak bulanık mantık tabanlı bir tahminleme sistemi tasarlamıştır. Karakurt (2019) çalışmasında, görüntüler üzerinde başarılı olduğu bilinen derin öğrenme mimarilerinden evrişimsel sinir ağı (Convolutional Neural Networks, CNN) kullanılarak, meme kanserine ilişkin patolojik görüntülerin sınıflandırması konusunda çalışmıştır. Tursun (2019) hipertansiyon hastalığı teşhisi için giyilebilir teknolojilerden elde ettiği verileri kullanarak makine öğrenmesi temelli bir tahminleme sistemi önermiştir. Zakiroğlu (2019) kişinin el röntgeni görüntülerini kullanarak makine öğrenmesi teknikleri ile kemik yaşı tespitine yönelik bir çalışma yapmıştır. Ünlü (2019) çalışmasında robotik üzerine başarılı sonuçlar veren modern derin pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinden soft-aktör-kritik (Soft Actor Critic - SAC) yöntemi ile finansal piyasalarda sıklıkla tercih edilen teknik analiz yöntemlerini kullanarak alım-satım stratejileri geliştirmiştir. Sarıca (2019) kendi çalışmasına özgü olarak geliştirdiği Renga isimli oyun üzerinde elde ettiği verileri farklı makine öğrenmesi teknikleri ve yapay sinir ağları ile işleyerek bir sonraki seviyeye geçiş ile ilgili kararlar üretmeye çalışmıştır. Büyüktopaç (2019) çalışmasında temel sınıflandırma algoritmaları kullanılarak mikro blog verileri üzerinde varlık ismi tanımaya yönelik bir sistem geliştirmiştir. Güler (2019) çalışmasında döviz ve altın kurundaki dalgalanmanın yapay zekâ yöntemleri ile tahmin edilebilmesi ve tahmin sonuçlarının kriz öngörüsünde kullanılabilmesini hedeflenmiştir. Salouhou (2019) üç farklı derin öğrenme modelini el yazısı tanıma ve resim sınıflandırma problemlerine uygulanmış ve modellerin performanslarını karşılaştırılmıştır. Avcı (2019) evrişimsel sinir ağları ile farklı girdi boyutları ve aktivasyon fonksiyonları kullanılarak oluşturulmuş modellerin örnek veri setleri üzerindeki başarımlarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Cengiz (2019) evrişimsel sinir ağları kullanarak mimari yapıların karakteristik özelliklerinden faydalanıp, yeni 3 boyutlu modellerin oluşturulmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Hanecioğlu (2019) evrişimsel sinir ağları ile Türkçe işaret dili tespitine yönelik olarak gerçekleştirdiği çalışmasında duyma engelli bireylerle işaret dili bilmeyen insanlar arasında etkileşimi sağlayan dijital bir çevirici önermiştir. Kayakökü (2019) pekiştirmeli öğrenme yöntemiyle sanal robotların programlanarak bir simülasyon ortamı içerisinde yönlendirilebileceği bir yaklaşım önermiştir. Günseli (2019) yüz algılama ve yüz tanıma teknolojilerini kullanarak görsel veriler üzerinden insanların ruhsal durumlarını algılamayı ve bunları tekil ya da grupsal olarak raporlayacak bir çözüm sunmayı hedeflemiştir. Taş (2019) yapay sinir ağları, makine öğrenmesi ve görüntü işleme teknikleri kullanılmış ve bir kamera karşısındaki insanın kişisel özelliklerinin otomatik tespit edilebilmesini amaçlayan yapay zekâ tabanlı çalışma yapmıştır. Çınar (2019) çalışmasında elde ettiği pirinç tanesi görüntüleri ile pirinç çeşitlerini sınıflandırmıştır. Sübay (2019) Türkçe için hazırlanan derlem üzerinde Word2vec tekniklerinin kullanıldığı çalışmada elde edilen kelime vektörlerinin, ait oldukları kelimelerin anlam ilişkileri ve biçimsel özellikleri açısından da

kümelenmelerini incelenmiştir. Yazılmış tezler genel olarak incelendiğinde askeri, bankacılık, sağlık ve görüntü işleme üzerine yapıldığı söylenebilir.

3.4. 2020 Yılında Yazılan Tezler

2020 yılında toplam 20 tane yüksek lisans tezi yazılmıştır. Kuriş (2020) nesnelerin interneti ekosisteminde yer alan akıllı cihazların güvenliğini sağlayabilmek amacıyla bu cihazlara yönelik siber saldırıların tespit edilmesini sağlayabilecek yapay zekâ uygulamalarının kullanılacağı anomali tabanlı bir saldırı tespit sisteminin geliştirilmesi konusunda çalışmıştır. Özkan (2020) çalışmasında açık küme listelerinde yapılan kimlik bulma problemine çözüm üretilmesi için yaklaşık yakın komşu aramasına yeni bir yaklaşım getirilmiş ve lineer liste aramasıyla arasındaki performans farkını incelemiştir. Harma (2020) çalışmasında en gelişmiş yapay sinir ağları ile makine çevirisi (YMC) modellerinden biri olan, kodlayıcı-kodçözücü yapısını ilgi mekanizmasıyla birleştiren dönüştürücü modeli ile çalışılmıştır. Ekin (2020) Türkçede fillerin morfolojik analizini yapabilen bir sonlu durum otomatının işleyişi hakkında çalışmıştır. Atav (2020) iki ilacın aynı anda kullanılması durumunda birbirleri üzerinde oluşabilecek yan etkinin önceden tespiti için yapay zekâ tabanlı bir uzman sistem geliştirilmesi konusunda çalışmıştır. Yılmaz (2020) görme engellilerin kendi başına ilaç kullanabilmesi için bir uygulama geliştirilmiştir. Sobay (2020) çalışmasında sağlık kurumlarının kendi verileriyle kendi pediatrik referans aralık çalışmalarını yapabilmesine imkan sağlayan, veri madenciliği yöntemiyle güçlendirilmiş yapay zekâ temelli öğrenme algoritmaları içeren entegre bir yazılım sistemi geliştirilmiştir. Varol Malkoçoğlu (2020) akut lenfoblastik lösemi hastalığına ait patoloji görüntülerinin yapay zekâ yöntemleri ile analiz edilerek pataloglara yardımcı olabilecek bir teşhis sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Demirdöver (2020) maça kızı oynamayı öğrenen yapay zekâ birimleri geliştirilmesi üzerinde çalışmıştır. Polatbilek (2020) BERT modelinin karakter seviyesinde de bilgi işleyebilmesini sağlamak amacıyla, BERT-ELMo modelini önerilmiştir. Özgen'in (2020) çalışmasında sanat eserleri olarak kabul edilen insan yapımı resimlerle eğitilmiş bir yapay sinir ağı modeliyle yapay resimler üretmeyi ve bu yapay resimlerin sanat eserleri olup olmadığı sorgulanmıştır. Balga (2020) çalışmasında, görsel sınıflandırma ve analize yönelik derin öğrenme modellerinden ResNet, DenseNet, VGGNet, Inception v3 ve NASNet modelleri kullanılmış ve başarı oranları hesaplanmıştır. Uykur (2020)'un çalışmasının konusu ise veri seti değiştirildiğinde kuralları yeniden oluşturmak zorunda kalmadan farklı bir projenin kural kümesini kullanarak yeni sorunları daha etkili ve daha hızlı bir şekilde çözüme ulaştırmaktır. Yıldırım(2020) Türkiye'deki COVID-19 vaka sayılarındaki değişimleri öngörebilmek amacıyla uzun-kısa süreli bellek (LSTM) tabanlı bir sinir ağı yaklaşımı ile ileriye yönelik tahmin üzerinde çalışmıştır. Afrah (2020) yapay zekâ destekli, uzman sistem tabanlı bir mSağlık uygulaması yapmıştır. Avan (2020) Android için geliştirilen mobil yazılımlarda zararlı yazılım tespiti yapmak amacı ile makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri konusunda çalışılmıştır. Kunduracı (2020) Tensorflow kütüphanesini kullanılarak Faster R-CNN derin öğrenme metodu ile böcekler üzerinde takım düzeyinde tespiti ve sınıflandırılması için bir model

önermiştir. Kofrc'in (2020) çalışmasının konusu, gerçek dünyadaki bir nesnelere interneti veri akışı test yatağından eşsiz bir veri setinin nesnelere interneti veri akışlarını kullanarak sık geçen desen analizi yapmaktır. Kökümbaev (2020) evrişimli sinir ağları (CNN); destek vektör makinesi (SVM); k-en yakın komşular (k-NN) yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Geren (2020) çalışmasında elde edilen gerçek hasar veri seti ile makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak, sahte hasarların tahmin edilme skorlarını karşılaştırmıştır. Yazılmış tezler genel olarak incelendiğinde siber güvenlik ve sağlık alanında olduğu görülmektedir. Covit 19 sebebi ile sağlık alanında yapılan çalışmaların sayısında artış olduğu söylenebilir.

3.5. 2021 Yılında Yazılan Tezler

2021 yılında toplam 11 tane yüksek lisans tezi yazılmıştır. Demirci (2021) çalışmasında CNN ağların konvolüsyon işlemi yerine ACO (Ant Colony Optimization -Karıncı Koloni Algoritması) dayalı bir katman getirilerek bu lineer olmayan sezgisel yöntemler aracılığı ile çözmek amaçlanmıştır. Sayın (2021) demir eksikliği anemisi (IDA) ve β -talasemiyi ayırt etmek için aşırı öğrenme makineleri (ELM) ve düzenli aşırı öğrenme makineleri (RELM) yöntemleri konusunda çalışmıştır. Elhagaggagi (2021) çalışmasında veri setini derin öğrenme algoritmalarından biri olan uzun kısa süreli bellek sinir ağı (LSTM), rastgele orman, Naïve Bayes ve k-en yakın komşu algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Ayrıca Tiroid hastalığı tahmin performansı, Doğruluk, ortalama karesel hata, ortalama mutlak hata, ortalama karekök sapması ve zaman gibi çeşitli ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kaya (2021) şirketlere yol göstermesi amacıyla yerel makine ve Google Firebase makine öğrenmesi SSD algoritması üzerinden karşılaştırılmıştır. Songül (2021) çalışmasında hücrelerin KI67 pozitif ve negatif olarak etiketlenmesi için yapay zekâ destekli görüntü işleme tekniklerini kullanarak en uygun KI67 nükleer ekspresyonu gösteren gliom hücrelerinin tanınması sağlanmıştır. Dugan (2021) termik santrallerde kullanılan linyit kömürünün makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak linyit kömürünün alt ısı (LCV) ve kül değerinin tahmin edilmesi konusunda çalışmıştır. Camgözlü (2021) çalışmasında, farklı sayıda yaprak görüntülerinden oluşan veri setleri kullanarak büyük veri seti oluşturulmuş ve bu veri setine özel yeni bir evrişimli sinir ağı modeli eğitilerek sonuçları incelemiştir. Çelik (2021) çalışmasında insanların maske takıp takmadığını derin öğrenmeye dayanan yaklaşımlar kullanılarak Knime veri analiz programı kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Öztürk (2021) çalışmasında zor problemleri modelin öğrenebilmesi için algoritma tabanlı bir strateji önermiştir. Al-Khafajı (2021) çalışmasında bulanık mantık ve yapay sinir ağları üzerine çalışmış ve bulanık mantığın başarı tahmin yüzdesinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Süve (2021) makine öğrenimi için uçtan uca nesnelere interneti çerçevesi geliştirmiştir. Yazılmış tezler genel olarak incelendiğinde Covit 19 sebebi ile çalışmaların sağlık alanında devam ettiği ve farklı algoritmalar kullanılarak aralarındaki farkların incelendiği söylenebilir.

4. Sonuç, Tartışma ve Öneriler

Bilimsel araştırmalara destek olmak amacı ile bu çalışmada 2017-2021 yılları arasında Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında “yapay zekâ” anahtar sözcüğü ile yazılmış yüksek lisans tezleri incelenmiştir. Erişimine izin verilen 79 yüksek lisans tezine YÖK’ün Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişilmiştir. Tarama modelinde tasarlanan çalışmanın veri analizinde içerik analizi ile nicel verilere ulaşılmıştır. Teknolojik gelişmeler ve yapay zekâ konusunda ilginin artmasından en fazla tezin 2019 yılında yazıldığı söylenebilir. Yazılmış tezlerin 53 tanesi Türkçe, 25 tanesi İngilizce, 1 tanesi de Kırgızcadır. 36 tezin danışmanlığı “Dr. Öğretim Üyesi”, 26 tanesi “Doç. Dr.”, 17 tanesi de “Prof. Dr.” unvanlı öğretim üyeleri tarafından yürütölmüştür. En fazla tez İstanbul Teknik Üniversitesi’nde yazılmıştır. Tezlerin yıl bazında konu dağılımlarının değişkenlik gösterdiği söylenebilir. Ancak genel anlamda sağlık, ekonomi, bilgisayar oyunları, verimlilik, optimizasyon, saldırı tespiti, metin madenciliği ve doğal dil işleme, göröntü işleme gibi konularda daha çok yönelim olduğu söylenebilir. Bu alışmaları gerçekleştirmek için karar ağaçları, destek vektör makinesi, en yakın komşuluk gibi sınıflayıcılar, yapay sinir ağları, bulanık mantık, doğal dil işleme ve derin öğrenme modellerinin tercih edildiği görölmektedir. Son dönemdeki çalışmaların daha çok sağlık ve ekonomi alanına yoğunlaşması ve günümüzün de en büyük ihtiyaç ve sorunlarının bu iki alanda olması sebebi ile popülerliklerini sürdürmektedir. Bunun yanında eğitim konusunda henüz yeterli sayıda çalışma yapılmadığı görölmektedir ve bu konu üzerinde yapılacak çalışmaların farklılık ve yenilik getireceği söylenebilir. Yeni araştırma yapacak araştırmacıların yapılmış olan çalışmaları dikkate alarak farklı alanlarda çalışmaları alanyazında çeşitliliği arttıracak ve aynı çalışmaların tekrar yapılmaması konusunda yol gösterici olacaktır.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar atışması beyan edilmemiştir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abdullah H. Identity document image analysis using artificial intelligence techniques. ukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2019.

Abusabra AK. Örüntü ve renk tabanlı mobil kıyafet arama motoru. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2018.

Afrah İA. Kişisel sağlık desteği için yapay zekâ tabanlı mobil uzman sistem uygulaması geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2020.

Al-Khafajı M. Student achievement prediction based on artificial neural network versus fuzzy logic. Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2021.

- Alpaydın E. Yapay öğrenme. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2013.
- Akgün A. Information discovery using ontology and graph theory in semantic web content. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018.
- Aktaş Y. Doğal dil işleme tabanlı bilgisayar ağ terimlerinin wordnet ontolojisi kullanılarak oluşturulması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2017.
- Aktürk Z. BIST100 endeksinin günlük modellenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2019.
- Atav A. İlaçların diğer ilaçlar ile etkileşimlerinin uzman sistem ile belirlenmesi. Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Avan T. Android zararlı yazılım tespit sistemi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2020
- Avcı F. Derin öğrenme teknikleriyle tomografi görüntülerinde karaciğer bölütlemesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2019.
- Aydın G. No-Sql veri tabanları üzerinde bir metin madenciliği uygulaması. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- Aydın ÖF. Yapay sinir ağları ile enflasyon tahmini. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Aygün RC. Derin öğrenme yöntemleri ile bilgisayar ağlarında güvenliğe yönelik anormallik tespiti. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- Aytaç K. Internet of things based waste and service management in quick service restaurants. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018.
- Başçı MB. Otonom robotlar aracılığıyla veri merkezlerindeki kabinet içi sıcaklık dağılımının bulanık mantık ile kontrolü. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 2019.
- Baştuğ A. Sezgisel algoritmaların denektaşı işlevler üzerinde başarımleriyle karşılaştırılması. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2017.
- Balga MK. Tatil evlerindeki odaların derin öğrenme ile sınıflandırılması ve uygulaması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2020.
- Bilecen S. Çarpık girdap algoritmasının bir askeri arama kurtarma simülasyonunda kullanılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.
- Bölükbaş G. BMI prediction from face images. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Büyüktopaç O. Evaluation of cosine similarity feature results with different experimental setups for named entity recognition on tweets. Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.

- Camgözlü Y. Evrişimli sinir ağı kullanılarak yaprak resimlerinin sınıflandırılması. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İskenderun, 2021.
- Çelik H. Aşırı knime veri analiz platformu kullanarak derin öğrenme algoritmaları ile imge sınıflandırma. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2021.
- Cengiz Ş. 3D fountain modeling from single image. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.
- Coppin B. Artificial Intelligent Illuminated. London: Jones and Bartlett Publishers. 2004.
- Çınar İ. Yapay zekâ teknikleri kullanılarak pirinç çeşitlerinin sınıflandırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2019.
- Çilingir A. İletişim alanında içerik analizi yöntemi kullanılarak yapılan yüksek lisans ve doktora tezleri üzerine bir inceleme. Erciyes İletişim Dergisi, 5(1), 148-160, 2017.
- Çine E. A Framework for generalized syllogisms. İzmir İleri teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2018.
- Demirci U. Sezgisel algoritmalar kullanarak derin öğrenme ağlarında performans iyileştirilmesi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.
- Demirdöver BK. Learning a partially-observable card game hearts using reinforcement learning. Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2020.
- Dugan M. Makine öğrenmesi ile kömürün kül ve kalori değerinin tahmini. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2021.
- Ekin MF. Türkçe morfolojik analiz için yeni bir yöntem. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Elhagaggagi EBAA. Thyroid disease prediction by using ddeep learning and machine learning paradigms: a comparative approach. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2021.
- Ermutaf EG. Çok amaçlı konteyner yükleme ve araç rotalama problemlerinin çözümü için genetik algoritma yaklaşımı: porselen sektöründe karar destek sistemi önerisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2019.
- Geren Y. Makine öğrenmesi ile sigorta sektöründe sahte hasar tespiti. Yüksek Lisans Tezi, , İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Güler K. Türkiye'deki altın ve döviz fiyatlarının değişiminin ekonomik veriler kullanılarak yapay zekâ ile tahmini ve kriz öngörüsü. Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Günseli ÖD. Mood analysis of employees by using image-based data. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2019.
- Hanecioğlu, N. Gesture recognition for turkish sign language with CNN and RNN. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.

- Harma SB. Yapay sinir ağırları ile makine çevirisinin detaylı başarımların analizi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- İnceoğlu A. Multimodal sensing for manipulation failure detection. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018.
- İlhan E. Monte carlo tree search with temporal-difference learning for general video game playing. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- Karabina A. Konuşmacı tanımada makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2017.
- Karasar N. Bilimsel Araştırma Yöntemi. Nobel, Ankara, 2012.
- Karakurt M. Patoloji görüntülerinin derin öğrenme yöntemleri ile sınıflandırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2019.
- Kaya H. Akciğer hastalıkları teşhisinde sınıflandırma ve bulanık mantık yöntemlerinin uygulanması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2018.
- Kaya Z. Görüntü işleme süreç ve sonuçları açısından google ve yerel makine öğrenmelerinin kıyaslanması. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2021.
- Kayakökü H. Pekiştirmeli öğrenme tabanlı robotlar ile yeni bir robocode savaş stratejisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2019.
- Kofrc A. Nesnelerin internetinde sık geçen desen analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2020.
- Kökümbaev Ş. Makine öğrenmede düzlem üzerindeki geometrik şekiller tanımalarının araştırması. Kırgızistan-Manas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kırgızistan, 2020.
- Kuş Z. Mikrokanonikal optimizasyon algoritması ile konvolüsyonel sinir ağlarında hiper parametrelerin optimize edilmesi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Kunduracı MS. Faster r-cnn derin öğrenme algoritması kullanarak takım düzeyinde böcek sınıflandırılması. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2020.
- Kuriş U. Türkçe kelime vektörlerinde görülen anlamsal ve biçimsel yakınlıklar. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Kutlu TG. Online cihazların izlenmesi ve veri madenciliği kullanılarak analizi. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Mahmood SS. Yapay alg algoritması ile yapay sinir ağlarının ağırlıklarının optimizasyonu. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2018.

- Merdan MA, Yapay sinir ağlarındaki öğrenme matrisinde nelder- mead optimizasyon algoritmasının kullanılmasının sınıflandırmaya olan etkisinin araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2019.
- Nabiyev V. Yapay zekâ. Seçkin Yayıncılık. 776s, Ankara, 2012.
- Nalçakan Y. Derin öğrenme ile alzheimer hastalığının teşhisi. İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018.
- Neuman WL. Toplumsal araştırma yöntemleri: nitel ve nicel yaklaşımlar. Çev. Özge, S, Yayın Odası Yayınları, 2010.
- Okyay MS. Smart Business Accounting software as an android mobile application using artificial intelligence. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2018.
- Özkan Ö. Büyük ölçekli yüz tanıma sistemlerinde arama uzayının küçültülmesi amacıyla verilerin temsil benzerliklerine göre kümelendirilmesi. İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Özgen AC. Words as art materials: generating paintings with sequential generative adversarial networks. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Öztürk A. Automated curriculum design for reinforcement learning with graph theory and evaluation heuristics. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.
- Polatbilek O. Enriching contextual word embeddings with character information. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2020.
- Sayın B. Aşırı öğrenme makineleri ile beta talasemi ve demir eksikliği anemisinin ayırt edilmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 2021.
- Sağıroğlu Ş, Beşdok E. ve Erler M. Mühendislikte yapay zekâ uygulamaları-I / yapay sinir ağları. Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, 426s, Kayseri, 2003.
- Salouhou A. El yazısı karakter tanıma ve resim sınıflandırmada derin öğrenme yaklaşımları. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Saruhan Özdağ F. Makine öğrenmesi yöntemiyle ağ ataklarının tespiti. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- Sarıca Y. Yapay zekâ ile oyun seviyeleme. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2019.
- Sobay D. System for extracting reference intervals from electronic health records. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2020.
- Solomon EP. İnsan anatomisi ve fizyolojisine giriş. Çev: (L. B. Sözen). Birol Basın Yayıncılık, İstanbul, 2013.

- Songül C. KI67 Labeling in gliomas with artificial intelligence. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 2021.
- Sübay MT. Türkçe kelime vektörlerinde görülen anlamsal ve biçimsel yakınlıklar. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Süer, K. Yapay zekâ ile meme kanseri lenf nodu analizi. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Süve MF. A Digital twin framework for predictive maintenance. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.
- Şen M. Erken çocukluk eğitiminde oyun ve önemi. Diken İ H (Ed.), Erken Çocukluk Eğitimi (403-431), Pegem Akademi, 552s, Ankara, 2018.
- Taş E. Prediction of personality traits from videos by using machine learning algorithms. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Tokyüz C. Melez öğrenme ile kalp ve damar hastalığının tahmini. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2018.
- Topçu Ş. Map sketch generation through multiobjective evolutionary algorithms. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- Tozlu İ. Simplifying balance sheet adjustment process in commercial loan applications using machine learning methods. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Turing AM. Computing machinery and intelligence. Mind, LIX No. 236, 433, 1950.
- Tursun G. Nesnelerin İnterneti ve bulanık mantık kullanarak giyilebilir tıbbi cihazlarda hipertansiyon teşhisi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2019.
- Tül U. Genetik algoritma tabanlı akıllı test sayfası üretimi. Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Yalova, 2018.
- Uykur NE. Application of defuzzification-free hierarchical fuzzy inference rule generation method to software fault prediction problems and fuzzy rule discussion. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2020.
- Ünlü MS. Teknik analiz ve derin pekiştirmeli öğrenme ile kriptopara alım-satımı. İstanbul Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.
- Varol Malkoçoğlu AB. Akut lenfoblastik lösemi hücrelerinin derin öğrenme yöntemleri ile sınıflandırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2020.
- Yıldırım A. ve Şimşek H. Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. 7. Baskı, Tıpkı Basım, Seçkin Yayıncılık. Ankara, 2008.
- Yıldırım Ö. Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak covid-19 vaka tahmini ve mevsimsel etkilerin analizi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2020.

- Yılmaz O. Yapay sinir ağları ile görme engelliler için ilaç tanıma ve sesli bilgi verme uygulaması. İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.
- Yunusova P. Türkiye elektrik enerjisi talep tahmini için ağaç-tohum programlama yaklaşımı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2019.
- Zakiroğlu N. Yapay zekâ teknikleri kullanarak kemik yaşı tespiti üzerinde bir uygulama. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.

CRISPR/Cas9 System and Gene Editing Technology

Özlem GÖK^{1*}, Seda BEYAZ², Abdullah ASLAN³

^{1,2,3}Firat University, Faculty of Science, Department of Biology, Molecular Biology and Genetics Program, 23119, Elazig, Turkey

¹<http://orcid.org/0000-0001-8521-6369>

²<http://orcid.org/0000-0003-0436-8112>

³<http://orcid.org/0000-0002-6243-4221>

*Correspondence author: ozlemgok938@gmail.com

Review Article

Article History:

Received: 09.03.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

CRISPR

Cas9

Gene expression

Genome engineering

ABSTRACT

This review on gene editing technologies summarizes the features, application areas and future of the CRISPR/Cas9 genome editing system. Recently, the aim of searchers has been to improve cost-effective and reliable ways to perform targeted changes to the genome of living cells. In particular, genome editing technologies involving DNA-binding proteins such as Zinc Finger Nuclease (ZFN) and Transcription Activator-Like Effector Nucleases (TALEN) have made great progress. Thanks to the CRISPR/Cas9 system, which has been developed in addition to sensitive and efficient systems to edit the genome in biological sciences, progress has been made in many fields such as molecular biology, biomedicine and medicine. Moreover, it has contributed to important developments in the field of genome engineering through targeted breaks in the DNA of almost every organism and cell type.

CRISPR/Cas9 Sistemi ve Gen Düzenleme Teknolojisi

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.03.2022

Kabul tarihi: 18.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

CRISPR

Cas9

Gen ekspresyonu

Genom mühendisliği

ÖZ

Gen düzenleme teknolojileri üzerine yapılan bu derlemede, CRISPR/Cas9 genom düzenleme sisteminin özellikleri, uygulama alanları ve geleceği hakkında bilgiler özetlenmektedir. Son zamanlarda araştırmacıların amacı, canlı hücrelerin genomunda hedeflenmiş değişiklikler yapmak için uygun maliyetli ve güvenilir yollar geliştirmek olmuştur. Özellikle Çinko Parmak Nükleaz (ZFN) ve Transkripsiyon Aktivatör-Benzeri Efektör Nükleazlar (TALEN) gibi DNA bağlayıcı proteinleri içeren genom düzenleme teknolojileri büyük gelişme sağlamıştır. Biyolojik bilimlerde genomu düzenlemek için hassas ve verimli sistemlere ilave olarak geliştirilen CRISPR/Cas9 sistemi sayesinde, moleküler biyoloji, biyomedikal ve tıp gibi birçok alanda ilerleme kaydedilmiştir. Dahası hemen hemen her organizmanın ve hücre tipinin DNA'sında hedeflenen kırılmalar yoluyla genom mühendisliği alanında önemli gelişmelere katkı sağlamıştır.

To Cite: Gök Ö., Beyaz S., Aslan A. CRISPR/Cas9 System and Gene Editing Technology. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 948-957.

1. Introduction

Along with modifying certain regions of an organism's genetic makeup, treating gene alterations of diseases has always been an interesting area of research. Gene editing methods are used in the therapy of illness caused by many genetic disorders, as well as in the treatment of dissimilar types of cancer (Luthra et al., 2021). Until now, Zinc Finger Nuclease (ZFN), Transcription Activator-Like Effector Nuclease (TALEN) and Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)/CRISPR-associated protein 9 (Cas9) systems have been used as targeted genome editing methods (Gupta et al., 2019). ZFNs and TALENs employ a strategy that binds endonuclease catalytic domains to DNA-binding proteins. It sees DNA double-stranded breaks (DSBs) targeted at specific loci. Cas9, on the other hand, represents a system driven by small RNAs to target DNA (Kaur et al., 2021). Clustered steady spaced short palindromic repeats (CRISPR) were primarily observed in *Escherichia coli* and CRISPR/Cas9 system is a complementary element of prokaryotic adaptable immunity, allowing prokaryotic cells to determine and destroy any stranger DNA (Luthra et al., 2021). They occur naturally in most archaea. They are found in about 40% of bacteria that help degrade DNA or RNA to combat foreign genetic elements such as programmed cell death in eukaryotes (Chandrasekaran et al., 2021).

There are three types of CRISPR/Cas9 systems. So far, most research has been done using the type II system. In this system, the invasive DNA is first divided into small parts and added to the CRISPR locus. The CRISPR space is then transcribed as non-coding pioneer CRISPR RNA (pre-crRNA) and processed as brief strains of mature crRNA. Trans-activating CRISPR mRNA (tracrRNA) jointly with a secondary non-coding RNA forms a ribonucleoprotein complex with the endonuclease Cas9, which sections and recognizes invasive DNA. Cas9 helps with adaptation. Type I and Type II systems are known to objective DNA, while Type III systems target either DNA or RNA. The type II system has been studied more than others due to its capability to induce double-strand breakup in target DNA (Savic and Schwank, 2016; Gupta et al., 2019; Zheng et al., 2020).

The aim of this review is to present the features, applications and future studies of the CRISPR/Cas9 genome editing system.

2. Genome Editing Methods

2.1. Zinc Finger Nuclease (ZFN)

Zinc Finger Nuclease (ZFN) is one of the first genome editing methods to use customizable endonucleases (Martinez-Lage et al., 2017). Zinc finger (ZF) is a protein motif that identifies the DNA sequence and is frequently encountered in transcription factors. It includes two subsites, the DNA binding space and the endonuclease space. Zinc atom is located in the center and is bound to amino acids 19-23 histidine and 3-6 cysteine. Thus, the finger structure is formed (Tufan and Keles, 2019). Amino acids in the zinc finger are able to recognize and bind to a 3-nucleotide sequence by matching with specific DNA sequences (Tufan and Keles, 2019). After the ZF domains bind the DNA target, the

cleaved *FokI* nuclease domain induces double strand breaks, which are then renovated by non-homologous end-joining (NHEJ) or homology-directed repair (HDR) mechanisms (Figure 1). Although ZFN technology can regulate changes in a particular gene, its use is limited in terms of time consuming and cost because it requires the creation of new ZF proteins, which is technically difficult (Martinez-Lage et al., 2017).

2.2. Transcription Activator-Like Effector Nucleases (TALEN)

The mechanism of action of transcription activator-like effector nucleases (TALEN) is like to that of zinc finger nucleases. However, *FokI* is used as the cleavage nuclease and TAL proteins are used as the identification strand. TALE proteins were obtained from *Xanthomonas* bacteria that are pathogenic in plants. They consist of DNA contact sites containing a conserved sequence of about 34 amino acids (Figure 1). TALENs are useful because they require less time to form a nuclease than ZFNs and are easy to evolve in terms of specificity and toxicity (Martinez-Lage et al., 2017; Tufan and Keles, 2019).

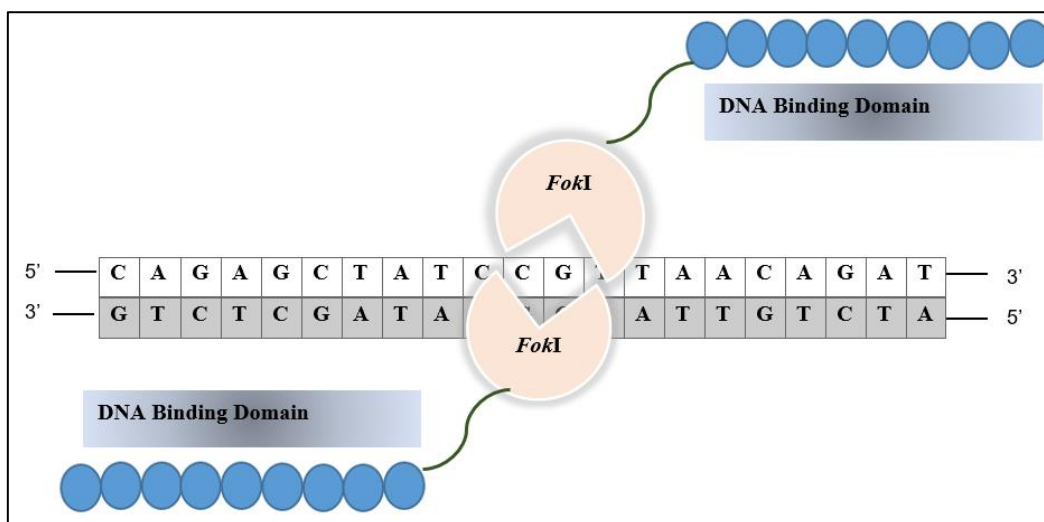


Figure 1. ZFN and TALEN Working Principle (Sakuma and Woltjen, 2014).

Targeted gene editing studies are carried out using ZFN and TALEN systems, known as genome editing technologies. However, their use has been limited for various reasons such as complexity, difficulty and cost. Therefore, researchers have produced a simple, reliable, time-consuming and cost-effective system for genome modification studies. For these studies, and advanced a revolutionary genome regulating technology CRISPR/Cas9 system (Gupta et al., 2019).

2.3. Genome Editing Tool CRISPR/Cas9 System

The CRISPR/Cas9 system is an adaptable immune system that can destroy strange plasmids or bacteriophages found in most bacteria and all archaea. The CRISPR/Cas9 system works with simple RNA-based DNA recognition. It has become an important part of gene editing due to its easy

synthesis and use, low cost and high specificity advantages. It is used as promising application in many fields such as genome engineering, genetic disease diagnosis and high-throughput functionality. The CRISPR system, which first appeared in 1987, consists of the CRISPR sequence with regular repeats and spacing sequences and its associated protein, the *cas* gene (Xie et al., 2021; Wang et al., 2021).

An investigative team led by Jennifer Doudna and Emmanuelle Charpentier was founded in 2012. They adapted the type II CRISPR system from *Streptococcus pyogenes* for genome editing studies. CRISPR/Cas9 is a genome system that purpose to reparation the disease-causing alleles by exchange the existing DNA sequences on the chromosome by becoming a fast and greatly used DNA editing tool in the future. This gene editing system enables genomic editing of species and cell types in many fields of biology, including plants, insects, mice and human cells (Savic and Schwank, 2016; Hryhorowicz et al., 2017).

CRISPR/Cas9 genome system is being studied in 3 stages. Firstly; adaptation or spacer integration, the second is the processing of the principal transcript of the CRISPR steady (pre-crRNA) and maturation of the crRNA inclusive the spacer and the third is the interaction of DNA or RNA and changeable regions corresponding to the 5' and 3' fragments of CRISPR repetitions. The Cas1 and Cas2 proteins establish vast majority of CRISPR/Cas systems are inserted into CRISPR cassettes and form the complex essential for the adaptation process. The endonuclease activity of Cas1 is necessary for conformation integration, while Cas2 is known to perform a non-enzymatic function. The maturation and conversion of pre-crRNA to crRNAs is accomplished by a specific RNA endonuclease complicated or by an alternating mechanism involving bacterial RNase III. The maturing crRNA binds with the Cas protein targeting cognate DNA or RNA (Makarova and Koonin, 2015).

Cas genes encode Cas proteins located close to the CRISPR sequence. The most important feature of these proteins is that they show endonuclease, exonuclease and helicase activities (Ilıkkın, 2020). As a conclusion of the enormous diversity of the CRISPR/Cas system, consistent annotation of Cas proteins has posed great difficulty. Cas proteins are an immensely various group of proteins occurs of almost 45 *Cas* gene families. Cas1 and Cas2 are identical at all CRISPR loci. Cas3, Cas9 and Cas10 are special to type I, type II and type III CRISPR/Cas systems, respectively. All of them contain components necessary for the basic steps of the defensive mechanism (Makarova and Koonin, 2015; Gupta et al., 2019).

CRISPR/Cas9 contains two components for DNA cleavage. Guide RNA (sgRNA), an RNA-guided Cas9 endonuclease and synthetic fusion of crRNA and tracerRNA. DNA separate is inducible by a Cas9-sgRNA ribonucleoprotein complex when the protospacer adjacent motif (PAM) is present and objective DNA sequences match the protospacer area of the sgRNA. The main difference between nucleases of CRISPR/Cas9, such as ZFNs and TALENs, is that CRISPR/Cas9-intermediated DNA split is programmed by a sgRNA. However, ZFNs and TALENs specifically encompass DNA binding sites (Zhang et al., 2021).

3. Components of the CRISPR/Cas9 System

3.1. Endonuclease Cas9

The endonuclease Cas9 is a major multidomain and functional DNA endonuclease that has the ability to shearing the genome at any place (Kozovska et al., 2021). Led by sgRNAs with a 20-nt DNA binding sequence, Cas9 is used as a programmable nuclease tool to modify the DNA sequences in the genomes of many organisms (Xiong et al., 2016).

3.2. Guide RNA (gRNA) or Single Guide RNA (sgRNA)

TracerRNA linking crRNA and Cas9, a sequence-specific targeting tool in most CRISPR-intermediated genome editing systems is combined into a single particle called sgRNA or gRNA. The sgRNA includes a target sequence of 20 nucleotides required to bind Cas9 to a specific genomic site (Kozovska et al., 2021).

3.3. Palindromic Repeat Sequences

The CRISPR locus consists of a CRISPR sequence with specific lengths of DNA repeats, indicated by spacer sequences (Zheng et al., 2020; Panda and Ray, 2022). The length and sequence content of the palindromic repeat sequences at the CRISPR locus are highly conserved, but may still differ between species. Palindromic repeat sequences are sequences that contribute to the creation of the RNA stem-loop secondary structure (hairpin). The repetition zones in these knees can be several or hundreds (Gumus and Kaymaz, 2018). The repeat sequences are very well conserved in the CRISPR region between 21-48 bp (Figure 2) (Gok and Tunalı, 2016).

3.4. Spacer DNA Regions

These sequences, which are highly variable elements of the CRISPR locus, range in length from 26–72 bp. The source of spacer DNAs is the nucleic acids of plasmids or viruses. Spacer DNA sequences can be single or multiple. These spacer DNA sequences constitute the memory of the adaptive immune mechanism in prokaryotes as the essential component of the adaptive immune system (Figure 2) (Gumus and Kaymaz, 2018).

3.5. Leader Sequence

The leader sequence is the starting point of transcription rich in thymine and adenine nucleotides located at the 5' end of the non-coding CRISPR steady. The leader sequence has no open reading frame and is not conserved across species (Figure 2) (Gumus and Kaymaz, 2018).

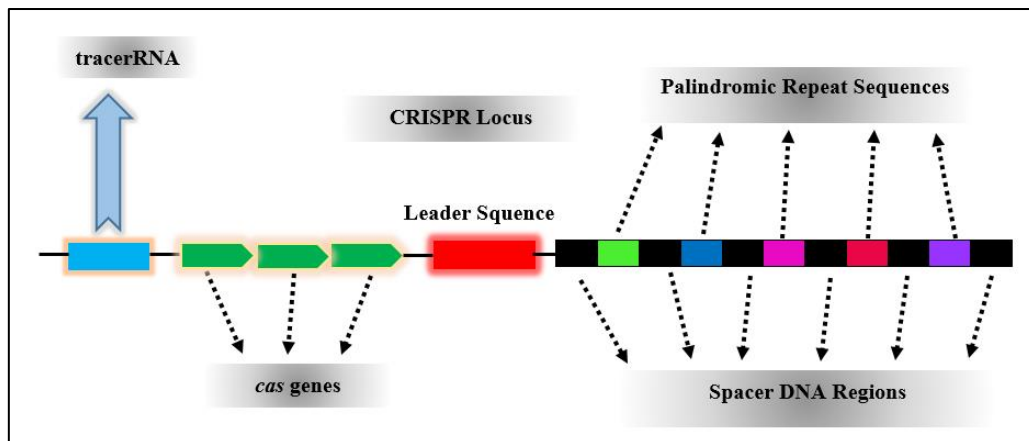


Figure 2. CRISPR Components (Elizondo et al., 2015).

4. CRISPR Applications

4.1. Sickle Cell Anemia

Sickle cell anemia is a hereditary autosomal recessive illness in which valine is located at codon 6 of the β -globin gene instead of glutamic acid. Here, a single amino acid change causes the formation of deoxygenated hemoglobin S (HbS), causing the molecules to appear to stick together. They take on a crescent shape that looks like a sickle when viewed under a microscope. To treat sickle cell anemia, CRISPR-Cas9 uses these two ways: The first is to repair the HbS genes that cause the deterioration of blood cells, and the second is to replace HbS with hemoglobin F (HbF) (Luthra et al., 2021).

4.2. Correction of Genetic Disorders

CRISPR/Cas9 genome system has a significant part in the therapy of genetic irregularity caused by single-gene mutations. Samples of such illnesses contain cystic fibrosis and Duchenne muscular dystrophy (DMD) (Redman et al., 2016). DMD is the most common muscle illness, affecting about 1 in 5000 live male births, reason by mutations of the DMD gene located on the X chromosome.

CRISPR/Cas9 genome editing can improve various DMD mutations and repair functionally disconnected dystrophin evidence in heart and skeletal muscle. Various methods have been utilized for CRISPR/Cas9-mediated DMD disease correction, including exon deletion, skipping and reframing (Zhang et al., 2021). However, adult intestinal stem cells were obtained from patients using CRISPR/Cas9 to investigate the treatment of cystic fibrosis. The mutation reason cystic fibrosis in intestinal organoids has been corrected (Redman et al., 2016).

4.3. Applications in Cell Therapy

CRISPR/Cas9 system has reformed the space of cell therapy. The results of *ex-vivo* gene editing using this therapy on T-cells from patients with cancer or autoimmune disease have been promising. Patient-derived T cells were transferred to patients using the CRISPR/Cas9 system, replacing reapplied stem cells to treat the disease. Also, various activated targets including CXCR4, CCR5, PD-1 and CD7

were delivered to the targeted sequence by electroporation of Cas9 ribonucleoproteins using chimeric antigen receptor (CAR)-T cells. In addition to T cells, pluripotent and hematopoietic stem cells taken from the patient's somatic cells have been applied to regulate the pathophysiological mechanisms of hereditary diseases *ex-vivo* (Redman et al., 2016; Zhang et al., 2018).

4.4. Applications in Pathogenic Diseases

CRISPR/Cas9 is formed from the immune defense system and therefore it has become an advantage to use this system to treat pathogenic diseases. Chronic hepatitis B is known as one of the most common infectious diseases worldwide, which can lead to cirrhosis and cancer. Hepatitis B virus (HBV) is caused by the presence of different closed circular DNAs (cccDNAs) in the liver. In recent studies, CRISPR-Cas9 system targeting cccDNA was used in HBV expressing HepG2 cells. As a result of the study, hepatitis B caused a decrease in core antigen expression and led to the mutation of cccDNAs (Xiao-Jie et al., 2015).

CRISPR/Cas9 system has been applied as an easy and productive technology for genome regulating in establishing animal disease models. For the production of genetically changed mouse models, the CRISPR/Cas9 genome mechanism has been utilized to manipulate genes at the germline or zygote phase. This genome mechanism has been exploited to construct transgenic models of organisms other than mouse. As an example zebrafish codon-optimized Cas9 mRNA and sgRNAs (RNA form) were transferred to single-cell embryos to alter endogenous genes in zebrafish. Also, through the CRISPR/Cas9 genome mechanism, disease-reason mutations in the human hemoglobin beta gene (HBB) from patients with β -thalassemia were eliminated (Xiong et al., 2016).

Back et al. (2019) developed viral vectors and transgenic tools for targeted genome modification in transgenic rat neurons using CRISPR-Cas9 technology. Starting from wild-type rats, they achieved knockdown of tyrosine hydroxylase with adeno-associated viral (AAV) vectors expressing Cas9 or guide DNAs (gRNAs). They created a transgenic rat line to specifically target CRISPR-Cas9 components to dopaminergic neurons, as well as an AAV vector for Cre-dependent gRNA expression. As a result, they developed cell- and sequence-specific genome modifications in the brain tissues of adult rats. Finn et al. (2018) stated that the transthyretin (Ttr) gene was significantly regulated by the application of lipid nanoparticles (LPN) in mouse livers via CRISPR/Cas9-mediated genome editing. According to the results, they obtained a biodegradable and well tolerated LNP delivery system. Thanks to the LNP delivery system, they achieved significant genome editing for high *in vivo* activity levels. Shao et al. (2018) found that hereditary tyrosinemia type I (HTI), a metabolic genetic disorder caused by fumarylacetoacetate hydrolase (FAH) mutation in rats, prevented the progression of liver cirrhosis and liver failure by CRISPR/Cas9-mediated gene therapy.

5. Conclusions and Future Directions

CRISPR/Cas system has been reported to be influential in correction various mutations and restoring protein function at the genomic level. This system provides scientists with the opportunity to fully and quickly gain the desired properties in organisms. ZFNs and TALENs are built on complex, expensive and time-consuming protein engineering.

On the other hand, CRISPR/Cas9 makes it possible to correct errors in the genome simultaneously in multiple independent regions that are shortly programmable, inexpensive for DNA targeting, easy to design and manufacture. It also provides an alternative to ZFN and TALEN in genome editing.

Recently, CRISPR/Cas9 system has made important progress in genome regulating. However, despite the challenges, the CRISPR/Cas9 system remains an effective, precision and accurate guide for genomic manipulation. It is assumed to continue to be used as a tool with the effective use of functional genomic studies by becoming more sensitive and efficient day by day.

CRISPR/Cas9 will be a glimmer of hope in the treatment of many deadly diseases such as cancer with therapeutic adjustments in the future. CRISPR/Cas9 will also provide significant advances in the pharmaceutical industry and will enable the development of new drugs using genetic methods in the treatment of diseases known to be deadly. Thanks to gene editing systems, serious measures can be taken against the release of organisms that will cause ecological damage and affect human health. Moreover, by using CRISPR/Cas9 gene editing technology, environmental stress tolerance and disease resistance of plants could be improved.

Acknowledgements

A part of this study was presented as an oral presentation at the International Aegean Symposiums on Natural & Medical Sciences-III Congress (12-13 March 2021, Izmir).

Conflict of Interest

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

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

Back S., Necarsulmer J., Whitaker LR., Coke LM., Koivula P., Heathward EJ., Fortuno LV., Zhang Y., Yeh CG., Baldwin HA., Spencer MD., Mejias-Aponte CA., Pickel J., Hoffman AF., Spivak CE., Lupica CR., Underhill SM., Amara SG., Domanskyi A., Anttila JE., Airavaara M., Hope BT., Hamra FK., Richie CT., Harvey BK. Neuron-specific genome modification in the adult rat brain using CRISPR-Cas9 transgenic rats. *Neuron* 2019; 102(1): 105-119.

- Chandrasekaran M., Boopathi T., Paramasivan M. A status-quo review on CRISPR-Cas9 gene editing applications in tomato. *International Journal of Biological Macromolecules* 2021; 190: 120-129.
- Elizondo D., Fernando LM., Oliver E., Clinton K., Retland N., Paturault H., Ullah H. Welcome to the brave new world: CRISPR mediated genome editing? Pathway to designer babies?. *Plant Tissue Culture and Biotechnology* 2015; 25(1): 143-154.
- Finn JD., Smith AR., Patel MC., Shaw L., Youniss MR., Van Heteren J., Dirstine T., Ciullo C., Lescarbeau R., Seitzer J., Shah RR., Shah A., Ling D., Growe J., Pink M., Rohde E., Wood KM., Salomon WE., Harrington WF., Dombrowski C., Strapps WR., Chang Y., Morrissey DV. A single administration of CRISPR/Cas9 lipid nanoparticles achieves robust and persistent *in vivo* genome editing. *Cell Reports* 2018; 22(9): 2227-2235.
- Gok ZG., Tunalı BÇ. Biology, mechanism and applications of CRISPR-Cas immune system. *International Journal of Engineering Research and Development* 2016; 8(2): 1-13.
- Gumus N., Kaymaz BT. CRISPR/Cas9 age in genome editing and leukemia applications. *Kafkas Journal of Medical Sciences* 2018; 8(3): 232-248.
- Gupta D., Bhattacharjee O., Mandal D., Sen MK., Dey D., Dasgupta A., Kazi TA., Gupta R., Sinharoy S., Acharya K., Chattopadhyay D., Ravichandiran V., Ghosh D. CRISPR-Cas9 system: A new-fangled dawn in gene editing. *Life sciences* 2019; 232: 116636.
- Hryhorowicz M., Lipiński D., Zeyland J., Słomski R. CRISPR/Cas9 immune system as a tool for genome engineering. *Archivum Immunologiae Et Therapiae Experimentalis* 2017; 65(3): 233-240.
- Ilikkan OK. Utilization of CRISPR/Cas system of lactic acid bacteria in biotechnology and genetic engineering. *Academic Food Journal* 2020; 18(3): 303-311.
- Kaur H., Pandey DK., Goutam U., Kumar V. CRISPR/Cas9-mediated genome editing is revolutionizing the improvement of horticultural crops: Recent advances and future prospects. *Scientia Horticulturae* 2021; 289: 110476.
- Kozovska Z., Rajcaniova S., Munteanu P., Dzacovska S., Demkova L. CRISPR: History and perspectives to the future. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2021; 141: 111917.
- Luthra R., Kaur S., Bhandari K. Applications of CRISPR as a potential therapeutic. *Life Sciences* 2021; 284: 119908.
- Makarova KS., Koonin EV. Annotation and classification of CRISPR-Cas systems. *CRISPR* 2015; 47-75.
- Martinez-Lage M., Torres-Ruiz R., Rodriguez-Perales S. CRISPR/Cas9 technology: Applications and human disease modeling. *Progress in Molecular Biology and Translational Science* 2017; 152: 23-48.
- Panda R., Ray A. Decrypting the mechanistic basis of CRISPR/Cas9 protein. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 2022; 172: 60-76.

- Redman M., King A., Watson C., King D. What is CRISPR/Cas9? *Archives of Disease in Childhood-Education and Practice* 2016; 101(4): 213-215.
- Sakuma T., Woltjen K. Nuclease-mediated genome editing: At the front-line of functional genomics technology. *Development, Growth & Differentiation* 2014; 56(1): 2-13.
- Savic N., Schwank G. Advances in therapeutic CRISPR/Cas9 genome editing. *Translational Research* 2016; 168: 15-21.
- Shao Y., Wang L., Guo N., Wang S., Yang L., Li Y., Wang M., Yin S., Han H., Zeng L., Zhang L., Hui L., Ding Q., Zhang J., Geng H., Liu M., Li D. Cas9-nickase-mediated genome editing corrects hereditary tyrosinemia in rats. *Journal of Biological Chemistry* 2018; 293(18): 6883-6892.
- Tufan F., Keles EN. Genome editing technologies and its applications in plants. *Haliç University Journal of Science* 2019; 2(1): 113-133.
- Wang SY., Du YC., Wang DX., Ma JY., Tang AN., Kong DM. Signal amplification and output of CRISPR/Cas-based biosensing systems: A review. *Analytica Chimica Acta* 2021; 338882.
- Xiao-Jie L., Hui-Ying X., Zun-Ping K., Jin-Lian C., Li-Juan J. CRISPR-Cas9: A new and promising player in gene therapy. *Journal of Medical Genetics* 2015; 52(5): 289-296.
- Xie S., Ji Z., Suo T., Li B., Zhang X. Advancing sensing technology with CRISPR: From the detection of nucleic acids to a broad range of analytes—a review. *Analytica Chimica Acta* 2021; 338848.
- Xiong X., Chen M., Lim WA., Zhao D., Qi LS. CRISPR/Cas9 for human genome engineering and disease research. *Annual Review of Genomics and Human Genetics* 2016; 17: 131-154.
- Zhang C., Quan R., Wang J. Development and application of CRISPR/Cas9 technologies in genomic editing. *Human Molecular Genetics* 2018; 27(R2): R79-R88.
- Zhang Y., Nishiyama T., Olson E.N., Bassel-Duby R. CRISPR/Cas correction of muscular dystrophies. *Experimental Cell Research* 2021; 112844.
- Zheng Y., Li J., Wang B., Han J., Hao Y., Wang S., Ma X., Yang S., Ma LY., Peng W. Endogenous type I CRISPR-Cas: from foreign DNA defense to prokaryotic engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 2020; 8: 62.

Ulusal Tez Merkezinde Yer Alan Meslek Hastalıkları Alanında Yazılan Tezlerin Bibliyografik Analizi

Selenay DALKIRAN¹, Zeynep Feride OLCAY^{2*}

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 34295, İstanbul

²İstanbul Aydın Üniversitesi, ABMYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 34295, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-5730-3999>

²<https://orcid.org/0000-0001-5720-7350>

*Sorumlu yazar: zeynepolcay@aydin.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.06.2022

Kabul tarihi:04.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği

Meslek hastalığı

Bibliyografik analiz

ÖZ

İnsanlar diğer canlılardan farklı olarak hayatlarını çalışarak devam ettirebilmektedir. İnsanların yerleşik hayata geçmesi ve farklı meslekler edinmelerinin sonrasında Sanayi Devrimi ile makineleşme de artmıştır. Bu olaylar üretimin artışına ve insanların daha uzun saatler çalışmasına sebep olmuştur. İnsanlar için fiziksel sağlık, ruhsal ve sosyal sağlık çok önemlidir. Çalışma ortam ve şartlarından kaynaklı olumsuzluklara çalışanların maruziyet süreleri arttıkça bu durum, çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. Sanayileşmenin ilk yıllarında meslek hastalığı terimi olmadığı için çalışanların geçirdikleri hastalıklar normal hastalık sınıfında değerlendirilmekteydi. Daha sonrasında hekimlerin meslek hastalığı terimine dikkat çekmeleri üzerine bu konudaki çalışmalara her geçen gün daha da önem vermeye başlanmıştır. Ülkemizde 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun yürürlüğe girmesiyle birlikte sektör fark etmeksizin çalışma koşullarının işçinin yaşam şartlarına uygun şekilde düzenlenmesi yükümlülüğü getirilmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda yer alan kriterlerin sağlanmaması durumunda iş kazaları ve meslek hastalıkları daima olmaya devam edecektir. Daha güvenli ve sağlığa elverişli iş ortamlarının yaratılması konusunda birçok araştırma yapılmış olup yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada 1989-2022 yılları arasında yapılan ve Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) veri tabanından bulunan yüksek lisans, tıpta uzmanlık ve doktora tezleri “meslek hastalığı ve meslek hastalıkları” terimiyle aratılmıştır. Bu terimlere göre çıkan sonuçlar bibliyografik analiz yöntemi ile incelenmiştir. Bibliyografik analiz yapılırken “tezlerin yılı ve türü, tezlerin konusu, üniversite, enstitü, ana bilim dalı, bilim dalı, sayfa sayısı, tezlere erişim izni” konularında incelemeler yapılmıştır. 1989-2022 yılları arasında toplam 123 adet tez yazıldığı görülmüştür. Tezlerin türlerine göre 108’i (%87,8) yüksek lisans tezi, 8’i (%6,5) doktora tezi, 7’si (%5,7) tıpta uzmanlık tezidir. Konuyla ilgili yazılan tezlerin %94,8’i Türkçe dilinde yazılmış olup, ilk sırada Sosyal Bilimler Enstitüsü gelmektedir.

Bibliographic Analysis of Theses Written in the Field of Occupational Diseases in the National Thesis Center

Review

Article History:

Received: 18.06.2022

Accepted: 04.09.2022

Published online: 10.03.2023

ABSTRACT

Unlike other living things, humans can continue their lives by working. After people settled down and acquired different professions, mechanization increased with the Industrial Revolution. These events led to an increase in production and people to work longer hours. Physical health, mental and

Keywords:

Occupational Health and Safety
Occupational disease
Bibliographic Analysis

social health is very important for people. Employees are exposed to multiple adverse conditions that threaten their health due to the unsafe and unhealthy conditions they encounter in their workplace. As the exposure time increases, the adverse conditions they are exposed to return to people as a disease. In the first years of industrialization, since the term occupational disease did not exist, the diseases suffered by the employees were considered in the normal disease class. However, due to the fact that physicians drew attention to the term occupational disease, measures were started to be taken. With the entry into force of the Occupational Health and Safety Law No. 6331 in 2012 in our country, the obligation to regulate the working conditions in accordance with the living conditions of the worker, regardless of the sector, has been introduced. If the criteria in the Occupational Health and Safety Law are not met, occupational accidents and occupational diseases will always continue to occur. A lot of research has been done and continues to be done on the creation of safer and healthier work environments. In this study, master's, medical specialization and doctoral theses, which were made between 1989 and 2022 and found in the database of the Higher Education Institution (HEI), were searched with the term "occupational diseases and occupational diseases". The results obtained according to these terms were analyzed with the bibliographic analysis method. During the bibliographic analysis, examinations were made on the subjects of "year and type of theses, subject of theses, university, institute, department, branch of science, number of pages, access permission to theses". It was observed that a total of 123 theses were written between 1989 and 2022. According to the types of theses, 108 (87.8%) master's thesis, 8 (6.5%) doctoral thesis, 7 (5.7%) medical specialty thesis. 94.8% of the theses written on the subject were written in Turkish. It is seen that the theses belonging to the Institute of Social Sciences come first.

To Cite: Dalkıran S., Olcay ZF. Ulusal Tez Merkezinde Yer Alan Meslek Hastalıkları Alanında Yazılan Tezlerin Bibliyografik Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 958-969.

1.Giriş

İş sağlığı ve güvenliği çalışma hayatının başladığı ilk günden itibaren her zaman önem arz eden bir konu olmakla birlikte sanayi devrimi ve gelişen teknolojinin etkisiyle çok daha fazla önem kazanmıştır. 18. yy. sonlarına doğru İngiltere’de sanayi devrimiyle birlikte gelişen teknoloji ve artan hammadde ihtiyacı arayışı “İş Sağlığı ve İşçi Güvenliği” kavramlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır (Çimen ve Çimen, 2020). İş Sağlığı, çalışma koşulları ve çalışma ortamındaki makinelerden kaynaklanan risklerin tespit edilip çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan daha sağlığa uygun koşullara getirmek ve iş ile işçinin birbirine uyumunu sağlamak amacıyla kurulmuştur. İş güvenliği ise, işçilerin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla çalışma ortamlarının sistematik olarak düzenlenmesi ve tedbirler alınmasını amaçlamaktadır (Tekin ve ark., 2021). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlığın tanımını “Sadece hasta ve sakat olmama durumu değil, fiziksel, ruhsal ve sosyal olarak da tam bir iyilik hali” şeklinde tanımlamıştır. Bu ifade dikkate alınarak çalışanların iş kazası ve meslek hastalığı yaşamadıkları, sağlıklı ve güvenli iş ortamı içerisinde çalışmalarına “İş Sağlığı ve Güvenliği” denilmektedir (Alaşar Yıldırım ve Kuruoğlu, 2013).

Sağlıklı şartlarda yaşamak ve çalışmak her insanın anayasal hakkıdır. Bazı çalışanlar yaptıkları iş ve çalışma koşulları sebebiyle sağlık açısından risklerle karşılaşmaktadırlar. Bu durum ise yeterince önlem alınmadığı takdirde çalışanların sağlıklarını kaybetmelerine hatta ölümler bile sebep olmaktadır

(Ilıman, 2015). Meslek hastalıkları işyerlerindeki olumsuz koşullar sebebiyle ortaya çıkan hastalıklara denmektedir. Ülkemizde de meslek hastalıkları konusu en temel sorunlardan birisidir. Bir hastalığın meslek hastalığı sayılabilmesi için çalışma ortamı ile yakalanan hastalık arasında ilişki bulunması gerekmektedir (Güvercin ve Mil, 2016).

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 2012 yılında kabul edilmesiyle birlikte İş Sağlığı ve Güvenliği konusunda yapılan çalışmalarda da artmalar meydana gelmiştir. Keçeci (2021) Ulusal Tez Merkezinde bulunan ve İş Sağlığı ve Güvenliği konusundan yazılmış tezlerin bibliyometrik analizini yapmış ve araştırmacılara literatürün genel yapısı ve özelliklerinin incelemiştir. Aynı zamanda Olcay (2022) araştırmacılara yardımcı olması amacıyla Ulusal Tez Merkezinde bulunan İş Kazaları konusunda yazılmış tezlerin bibliyometrik analizini yapmıştır.

Bibliyometri literatür içerisinde bulunan makale, tez, kitap gibi yayınların istatistiksel açıdan analizlerinin yapılmasına denir (Demir, 2018). Bibliyometri terimi ilk olarak E. Wyndham Hulme tarafından "istatistiksel bibliyografya" olarak ortaya çıkmıştır. 1969 yılında ise Pritchard tarafından Bibliyometri terimi ortaya çıkmıştır (Demir Askeroğlu, 2018). Bibliyometrik analizin amacı belge veya yayınların belli özelliklerini analiz etmek ve bilimsel iletişime ilişkin bulgular elde etmektir. Günümüzde pek çok ülke ve kuruluşlarca sıklıkla başvurulmaktadır. Verilerin niceliksel olarak değerlendirilerek bulunduğu alanlardaki gelişimini ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır (Erbaşı ve Erer, 2018).

Bu çalışmanın amacı tüm Dünya'da hala gelişmeye devam İş Sağlığı ve Güvenliğinin ayrılmaz bir parçası olan meslek hastalıkları alanındaki gelişmeleri ve yapılan araştırmaları bibliyografik açıdan analiz etmektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada meslek hastalıkları konusunda yazılmış olan yüksek lisans, doktora, tıpta uzmanlık tezleri YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanında "meslek hastalığı, meslek hastalıkları" kelimeleri ile aranmış ve ulaşılmış tezlerin bibliyografik özellikleri incelenmiştir. Bibliyografik analiz yapılırken türleri, yazım yılı, dili, teze erişim izin durumu, sayfa sayısı, yazıldığı üniversite, enstitü ve ana bilim dalı, tezin konusu gibi parametreler incelenmiştir.

3. Bulgular

Tezlerin Türlerine Göre İncelemesi

Ulusal tez merkezinde yapılan araştırmalar sonucunda 1989-2022 yılları arasında yazılmış 123 adet teze erişim sağlanmıştır. Bu tezler türlerine göre incelendiğinde Şekil 1'de gösterildiği gibi 108'i (%87,8) yüksek lisans tezi, 8'i (%6,5) doktora, 7'si (%5,7) tıpta uzmanlık şeklinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Türlerine Göre Dağılımı

Tezlerin Yıllara Göre Dağılımı

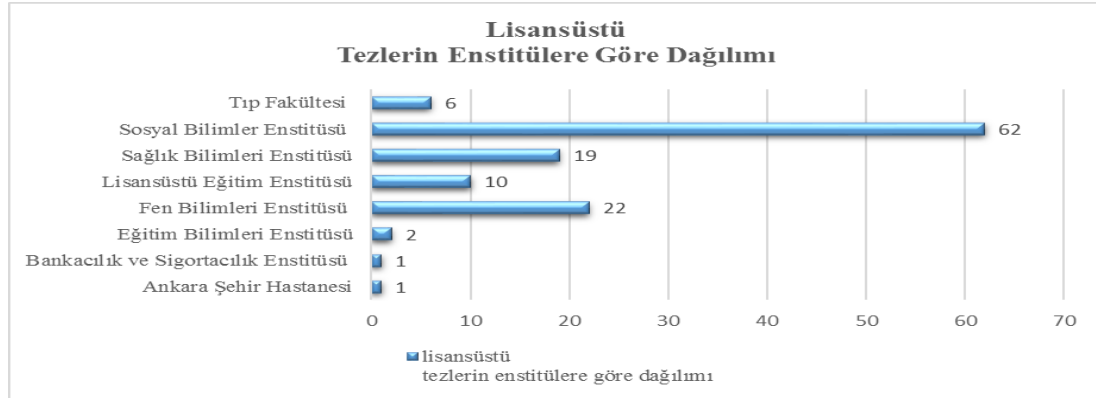
Meslek hastalıkları ile ilgili yazılmış olan lisansüstü tezlerin yıllara göre dağılımı incelendiğinde 1989 ve 2022 yılları arasında 123 adet tez yazılmıştır. 2000 yılı ve öncesinde 14 adet tez, 2001 ve 2010 yılları arasında 25 adet tez, 2011 ve 2022 yılları arasında 84 adet tez yazıldığı görülmektedir. Bu tezlerin çoğunluğu 2019 yılında 26 adet ile en çok tez yazılan sene olarak Tablo 1’de göze çarpmaktadır.

Tablo 1. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Yıllarına Göre Dağılımı

| No | Yıl | Sayı | No | Yıl | Sayı |
|----|------|------|----|------|------|
| 1 | 1989 | 1 | 15 | 2009 | 2 |
| 2 | 1990 | 1 | 16 | 2010 | 4 |
| 3 | 1991 | 2 | 17 | 2011 | 5 |
| 4 | 1992 | 2 | 18 | 2012 | 3 |
| 5 | 1993 | 1 | 19 | 2013 | 3 |
| 6 | 1994 | 1 | 20 | 2014 | 4 |
| 7 | 1995 | 3 | 21 | 2015 | 5 |
| 8 | 1999 | 2 | 22 | 2016 | 4 |
| 9 | 2000 | 1 | 23 | 2017 | 6 |
| 10 | 2002 | 3 | 24 | 2018 | 8 |
| 11 | 2004 | 3 | 25 | 2019 | 26 |
| 12 | 2006 | 7 | 26 | 2020 | 8 |
| 13 | 2007 | 3 | 27 | 2021 | 10 |
| 14 | 2008 | 3 | 28 | 2022 | 2 |

Lisansüstü Tezlerin Enstitülere Göre Dağılımı

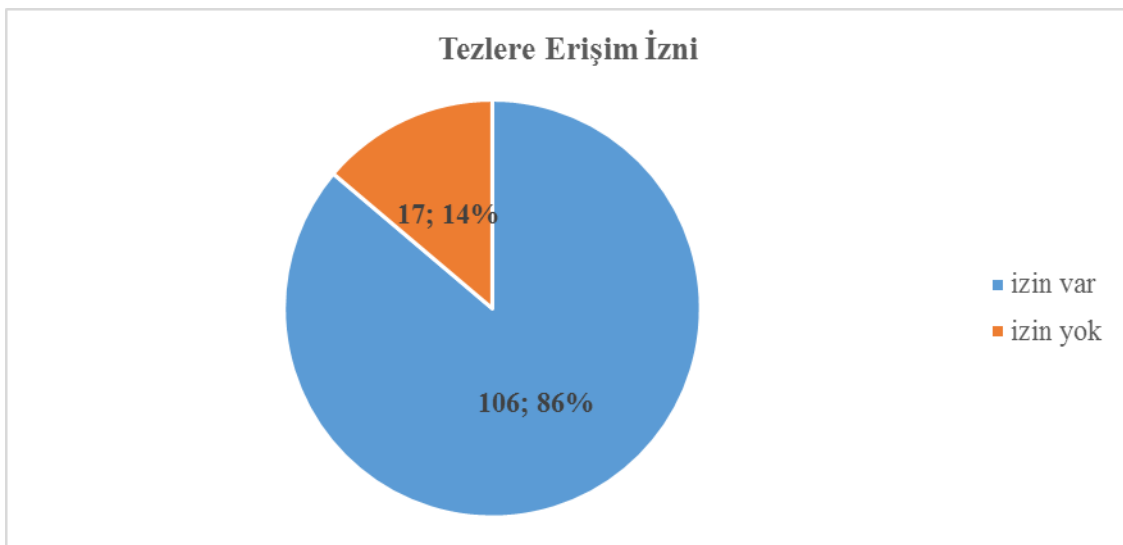
Meslek hastalıkları alanında yazılan tezlerin Enstitülere göre dağılımı Şekil 2’de gösterilmektedir. Meslek hastalıkları araması yapıldığında 1989 ve 2022 arasında yazılan tezlerden birinci sırada Sosyal Bilimler Enstitüsü (62 adet), ikinci sırada Fen Bilimleri Enstitüsü (22 adet), üçüncü sırada ise Sağlık Bilimleri Enstitüsü (19 adet) sonrasında sırasıyla Lisansüstü Eğitim Enstitüsü (10 adet), Tıp Fakültesi (6 adet), Eğitim Bilimleri Enstitüsü (2 adet), Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü (1 adet) ve Ankara Şehir Hastanesi (1 adet) bulunmaktadır.



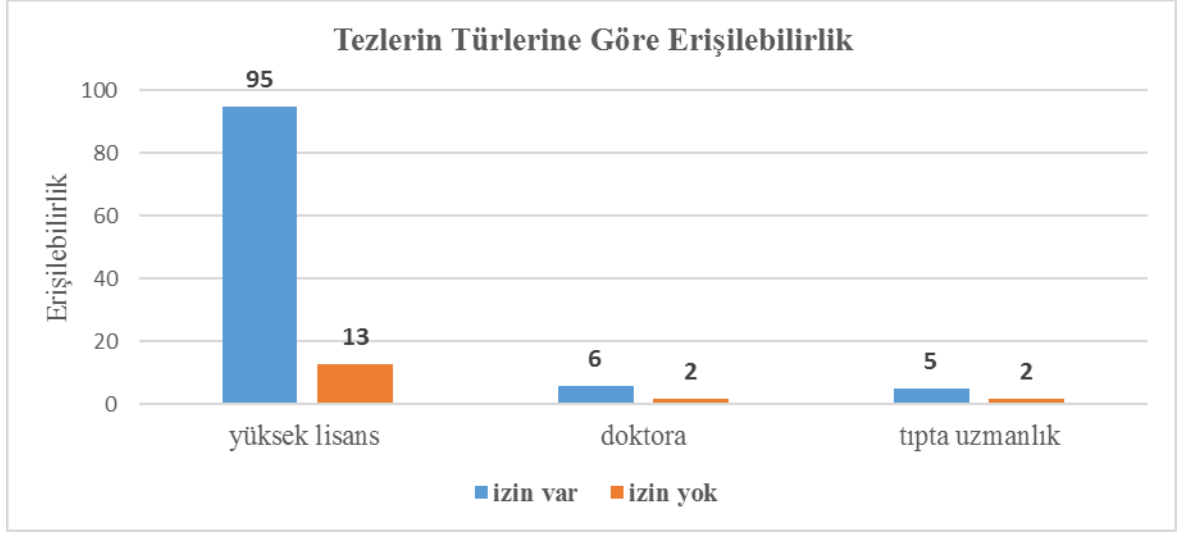
Şekil 2. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Enstitülere Göre Dağılımı

Lisansüstü Tezlerin Erişilebilirliklerine Göre Dağılımı

Şekil 3’e göre 1989 ve 2022 yılları arasında yazılan 123 tezin 106 tanesi (%86) YÖK Ulusal Tez Merkezinde erişim iznine sahipken, 17 tanesi (%14) erişim izninin olmadığı görülmüştür. Şekil 4’e bakıldığında ise yüksek lisans tezlerinin 95 tanesinin erişilebilir olduğu, doktora tezlerinin 6 tanesinin, tıpta uzmanlık tezlerinin 5 tanesinin erişilebilir olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Erişilebilirliklerine Göre Dağılımı



Şekil 4. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Türlerine Göre Erişilebilirlik Dağılımı

Lisansüstü Tezlerin Yazım Dillerine Göre Dağılımı

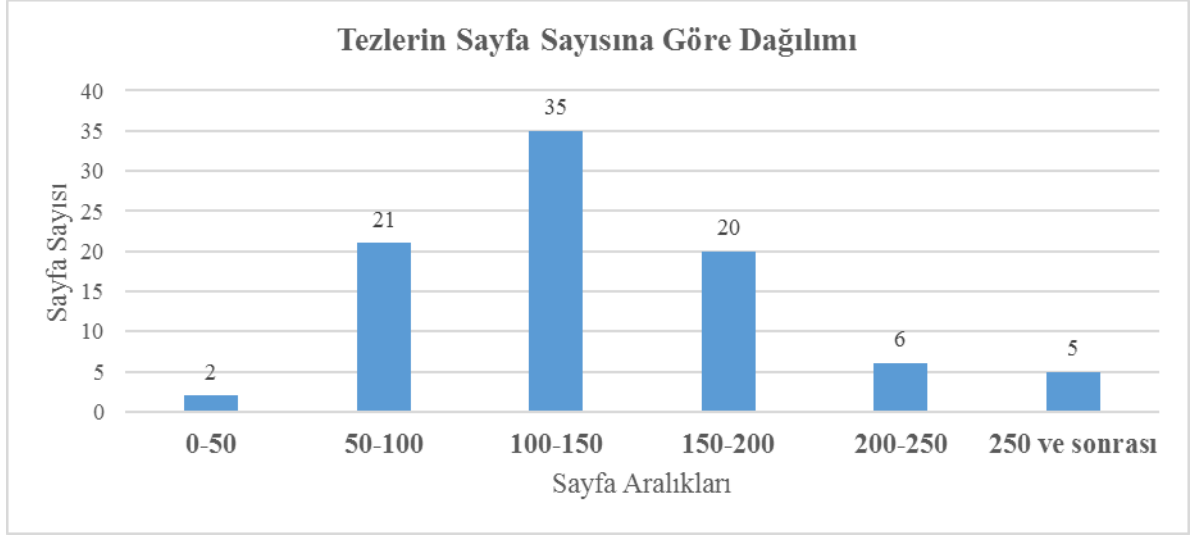
Şekil 5 incelendiğinde 1989 ve 2022 yılları arasında yazılan 123 tezin 121'inin Türkçe ve 2'sinin İngilizce yazım diline sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Yazım Dillerine Göre Dağılımı

Lisansüstü Tezlerin Sayfa Sayısına Göre Dağılımı

Meslek Hastalıkları konusunda yazılan tezlerin sayfa sayılarına göre dağılımının gösterildiği Şekil 6 incelendiğinde; yazılan tezlerin 35'i 100-150 sayfa arasında, 21'i 50-100 sayfa arasında, 20'si 150-200 sayfa arasında, 6'sı 200-250 sayfa arasında, 5'i 250 sayfa üzerinde ve 2 tanesi 0-50 sayfa aralığındadır.



Şekil 6. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Sayfa Sayılarına Göre Dağılımı

Lisansüstü Tezlerin Konularına Göre Dağılımı

Tablo 2'ye göre Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri, Halk Sağlığı, Hukuk konularında yazılan tezlerin ilk sıralarda olduğu görülmektedir. Bu konular dışında Kazalar ve İşletme konularında yazılan tez sayılarının yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Konularına Göre Dağılımı

| No | Konu | Sayı |
|----|--|------|
| 1 | Adli Tıp | 1 |
| 2 | Ağaç İşleri | 1 |
| 3 | Aile Hekimliği | 3 |
| 4 | Aktüerya Bilimleri | 1 |
| 5 | Besin Hijyeni ve Teknolojisi | 1 |
| 6 | Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri | 33 |
| 7 | Çevre Mühendisliği | 2 |
| 8 | Dermatoloji | 1 |
| 9 | Diş Hekimliği | 2 |
| 10 | Elektrik ve Elektronik Mühendisliği | 2 |
| 11 | Endüstri ve Endüstri Mühendisliği | 1 |
| 12 | Gıda Mühendisliği | 1 |
| 13 | Giyim Endüstrisi | 1 |
| 14 | Göğüs Hastalıkları | 1 |
| 15 | Halk Sağlığı | 24 |
| 16 | Hastaneler | 3 |
| 17 | Hemşirelik | 1 |
| 18 | Hukuk | 23 |
| 19 | İlk ve Acil Yardım | 1 |
| 20 | İnşaat Mühendisliği | 1 |
| 21 | İşletme | 11 |
| 22 | Kazalar | 12 |
| 23 | Maden Mühendisliği | 1 |

| | | |
|----|---------------------------------|---|
| 24 | Makine Mühendisliği | 2 |
| 25 | Mühendislik Bilimleri | 3 |
| 26 | Müzik | 1 |
| 27 | Polimer Bilim Teknolojisi | 1 |
| 28 | Psikoloji | 1 |
| 29 | Radyoloji ve Nükleer Tıp | 1 |
| 30 | Sağlık Eğitimi | 2 |
| 31 | Sağlık Kurumları Yönetimi | 3 |
| 32 | Sağlık Yönetimi | 1 |
| 33 | Sigortacılık | 2 |
| 34 | Sivil Havacılık | 1 |
| 35 | Tekstil ve Tekstil Mühendisliği | 1 |
| 36 | Ulaşım | 1 |
| 37 | Ziraat | 3 |

Lisansüstü Tezlerin Üniversitelere Göre Dağılımı

Meslek hastalıkları ile ilgili yazılan lisansüstü tezler üniversitelere göre incelendiğinde Gazi Üniversitesi (18) tez ile en çok tez yazılan üniversite olurken İstanbul Üniversitesi (12) ile ikinci sırada takip etmektedir. Tablo 3'e bakıldığında; Kocaeli Üniversitesi, Marmara Üniversitesi ve Tarsus Üniversitesi'nde yazılan tezler ile bu sırayı takip ettiği görülmektedir.

Tablo 3. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Üniversitelere Göre Dağılımı

| No | Üniversite | Toplam Tez sayısı |
|----|---|-------------------|
| 1 | Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi | 1 |
| 2 | Akdeniz Üniversitesi | 1 |
| 3 | Ankara Üniversitesi | 4 |
| 4 | Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi | 1 |
| 5 | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi | 1 |
| 6 | Bahçeşehir Üniversitesi | 1 |
| 7 | Başkent Üniversitesi | 1 |
| 8 | Beykent Üniversitesi | 3 |
| 9 | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi | 1 |
| 10 | Bursa Uludağ Üniversitesi | 1 |
| 11 | Cumhuriyet Üniversitesi | 2 |
| 12 | Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi | 3 |
| 13 | Dokuz Eylül Üniversitesi | 3 |
| 14 | Ege Üniversitesi | 1 |
| 15 | Erciyes Üniversitesi | 1 |
| 16 | Erzincan Üniversitesi | 1 |
| 17 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi | 1 |
| 18 | Galatasaray Üniversitesi | 3 |
| 19 | Gazi Üniversitesi | 18 |
| 20 | Gedik Üniversitesi | 1 |
| 21 | Gediz Üniversitesi | 1 |
| 22 | Hacettepe Üniversitesi | 1 |
| 23 | Hasan Kalyoncu Üniversitesi | 2 |

| | | |
|----|---------------------------------------|----|
| 24 | İstanbul Gelişim Üniversitesi | 1 |
| 25 | İstanbul Ticaret Üniversitesi | 2 |
| 26 | İstanbul Üniversitesi | 12 |
| 27 | İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi | 2 |
| 28 | İzmir Ekonomi Üniversitesi | 2 |
| 29 | İzmir Katip Çelebi Üniversitesi | 2 |
| 30 | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | 2 |
| 31 | Karadeniz Teknik Üniversitesi | 1 |
| 32 | Kocaeli Üniversitesi | 7 |
| 33 | KTO Karatay Üniversitesi | 1 |
| 34 | Marmara Üniversitesi | 6 |
| 35 | Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi | 1 |
| 36 | Ordu Üniversitesi | 1 |
| 37 | Orta Doğu Teknik Üniversitesi | 1 |
| 38 | Pamukkale Üniversitesi | 1 |
| 39 | Sağlık Bakanlığı | 1 |
| 40 | Sakarya Üniversitesi | 3 |
| 41 | Selçuk Üniversitesi | 5 |
| 42 | Süleyman Demirel Üniversitesi | 3 |
| 43 | Tarsus Üniversitesi | 6 |
| 44 | Trakya Üniversitesi | 3 |
| 45 | Uludağ Üniversitesi | 1 |
| 46 | Üsküdar Üniversitesi | 3 |
| 47 | Yalova Üniversitesi | 1 |
| 48 | Yeditepe Üniversitesi | 2 |

Lisansüstü Tezlerin Anabilim Dallarına Göre Dağılımı

Tablo 4'te Meslek hastalıkları ile ilgili yazılan lisansüstü tezler anabilim dallarına göre incelendiğinde İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı 25 tez ile ilk sırada, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı 17 tez ile ikinci sırada, Özel Hukuk Anabilim Dalı 15 tez ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 4. Meslek Hastalıkları ile İlgili Tezlerin Anabilim Dallarına Göre Dağılımı

| No | Anabilim Dalı | Sayı |
|----|--|------|
| 1 | Ağaç İşleri | 1 |
| 2 | Aile Hekimliği | 3 |
| 3 | Aktüerya Bilimleri | 1 |
| 4 | Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri | 17 |
| 5 | Disiplinlerarası İş Sağlığı ve Güvenliği | 1 |
| 6 | Endüstri Mühendisliği | 2 |
| 7 | Enerji Sistemleri Mühendisliği | 1 |
| 8 | Giyim Sanatları Eğitimi | 1 |
| 9 | Halk Sağlığı | 6 |
| 10 | Hastane ve Sağlık Kur. Yön. | 3 |
| 11 | Hukuk | 2 |
| 12 | İnsan Kaynakları ve Örgütsel Değişim | 1 |

| | | |
|----|--|----|
| 13 | İnsan Kaynakları Yönetimi | 1 |
| 14 | İnşaat Mühendisliği | 1 |
| 15 | İş Güvenliği | 1 |
| 16 | İş Sağlığı ve Güvenliği | 25 |
| 17 | İş ve Sosyal Güvenlik Hukuku | 2 |
| 18 | İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği | 3 |
| 19 | İşletme | 2 |
| 20 | İşletme Eğitimi | 1 |
| 21 | Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması | 3 |
| 22 | Maden İşletme | 1 |
| 23 | Makine Eğitimi | 1 |
| 24 | Makine Mühendisliği | 1 |
| 25 | Muhasebe Finansman | 1 |
| 26 | Müzik Eğitimi | 1 |
| 27 | Oral Diagnoz ve Radyoloji | 1 |
| 28 | Otomotiv Mühendisliği | 1 |
| 29 | Özel Hukuk | 15 |
| 30 | Protetik Diş Tedavisi | 1 |
| 31 | Psikiyatri Hemşireliği | 1 |
| 32 | Sağlık Hukuku | 1 |
| 33 | Sağlık Yönetimi | 2 |
| 34 | Sigortacılık | 1 |
| 35 | Sosyal Hizmet | 2 |
| 36 | Sosyal Politika | 1 |
| 37 | Tarım Makineleri | 1 |
| 38 | Uluslararası Ticaret ve Lojistik | 1 |
| 39 | Yemler ve Hayvan Besleme | 1 |
| 40 | Yönetim ve Çalışma Psikolojisi | 1 |
| 41 | Yönetim ve Organizasyon | 1 |

4. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanında aratılan “Meslek hastalığı ve Meslek hastalıkları” kelimeleri ile çıkan lisansüstü tezler incelendiğinde 1989-2022 yılları arasında toplam 123 adet tez yazıldığı görülmüştür. Bu tezlerin bibliyografik analizi yapıldığında tezlerin türlerine göre 108’i (%87,8) yüksek lisans tezi, 8’i (%6,5) doktora tezi, 7’si (%5,7) tıpta uzmanlık tezidir.

Yazılan tezlerin yıllara göre dağılımı incelendiğinde; 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nun yürürlüğe girmesiyle artış gösterdiği, İş Sağlığı ve Güvenliği konusunun zamanla daha fazla önem kazandığı anlaşılmaktadır ve en fazla yazılan tez sayısının ise 2019 ve 2021 yıllarında olduğu görülmektedir.

Meslek hastalıkları konusunda yazılan lisansüstü tezlerin enstitülere göre dağılımı incelendiğinde; ilk üç sırada sırasıyla Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü ve Sağlık Bilimleri Enstitüsünün olduğu görülmektedir.

Yazılan 123 Lisansüstü tezin erişilebilirlik durumuna bakıldığında; erişilebilir tezlerin %86 oranında olduğu ve erişilemeyen tezlerin ise %14 oranında olduğu görülmektedir.

Lisansüstü tezlerin yazım dillerine göre dağılımı incelendiğinde; büyük çoğunluğunun %98,4 oranında Türkçe dilinde yazıldığı, İngilizce dilinde yazılmış tezlerin ise %1,6 oranında yazıldığı görülmektedir.

Yazılan tezlerin sayfa sayılarına göre dağılımı incelendiğinde; tezlerin 35'i 100-150 sayfa arasında, 21'i 50-100 sayfa arasında, 20'si 150-200 sayfa arasında, 6'sı 200-250 sayfa arasında, 5'i 250 sayfa üzerinde ve 2 tanesi 0-50 sayfa aralığındadır. Meslek hastalıkları konusunda bilgi edinmek amacıyla çıkan tezler aratıldığında bu tezlerin genelde 100-150 sayfalık tezler olduğu söylemek mümkündür.

Lisansüstü tez çalışmaları birden çok konuda yazılmıştır. Bu konulardan Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri, Halk Sağlığı ve Hukuk alanı fazla tercih edilmiş olup Kazalar ve İşletme konularında da yazılan tez sayılarının yüksek olduğu görülmektedir. Bunlar dışında Ağaç İşleri, Aktüerya Bilimleri, Müzik, Psikoloji gibi farklı birçok konuda yapılan çalışmaların ise az olduğu görülmektedir. Çalışmaların az yapıldığı konuların tercih edilerek bu alanlarda yeni çalışmaların yapılması araştırmacıları daha fazla katkı sağlamaya yardımcı olacaktır.

Gazi Üniversitesi ve İstanbul Üniversitesi öncelik olarak bu alanda lisansüstü araştırmaları yaparken; Kocaeli Üniversitesi, Marmara Üniversitesi ve Tarsus Üniversitesi de yaptığı çalışmalar ile bu iki üniversiteyi takip etmektedir. Bu alanlarda çalışmalarda bulunmayan ve az sayıda çalışmalar gerçekleştiren üniversitelerin yeni yapılacak çalışmalarında bu konulara yer vermesi İş Sağlığı ve Güvenliğinin ayrılmaz bir parçası olan Meslek Hastalıkları alanına büyük katkı sağlayacaktır.

Son olarak lisansüstü tezlerin yazıldığı anabilim dalları incelendiğinde İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı ve Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı araştırmacılarının bu alanda daha fazla çalışma yaptığı görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan her çalışma İş Sağlığı ve Güvenliği alanında daha fazla bilgi edinmeyi ve gelişmeyi sağlayacaktır. Bu gelişme sayesinde daha az meslek hastalıkları, daha az iş kazaları ve acil durumlar meydana gelecektir. Çalışan işçi daha sağlıklı ve güvenli koşullarda çalışacak, can ve mal kayıpları giderilecektir. Tüm bu durumlar ise işveren için daha az maliyete ve daha az sorumluluk yüküne sebep olarak daha huzurlu bir ortam sağlayacaktır. Yapılan bu çalışma ile araştırmacılara bir rehber olma niteliği sağlamaktadır. Böylelikle yürütülen çalışmanın meslek hastalıkları konusunda çalışma yapan araştırmacıların bu alandaki eksiklikler veya geliştirilmesi gereken konular hakkında bilgi sahibi olması bakımından katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

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

- Alaşar Yıldırım Y., Kuruoğlu M. Türkiye'de ki işçi sağlığı ve iş güvenliğinin ABD ile kıyaslanması. Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2013; 6(2): 105-120.
- Çimen A., Çimen S. İş sağlığı ve iş güvenliğinin önemi: Bayburt örneğlemi. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2020; 3(2): 81-85.
- Demir E. Antropoloji alanındaki yayımların bibliyometrik analizi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2018; 11(2): 15212-1527.
- Demir Askeroğlu E. Uluslararası Tojdac Dergisinin bibliyometrik analizi. Turkish Online Journal of Design Art and Communication 2018; 8(2): 190-202.
- Erbaş A., Erer B. 5. Uluslararası Meslek Yüksekokulları sempozyumundaki bildirilerin bibliyometrik analizi. Mesleki Bilimler Dergisi (MBD) 2018; 7(2): 401-409.
- Güvercin A., Mil Hİ. İş kazası ve meslek hastalığı sigortasının meslek hastalığı boyutunun analizi. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2016; 9(27/3): 82-100.
- Ilıman EZ. Türkiye'de meslek hastalıkları. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi 2015; 1(1): 21-36.
- Keçeci Ş. Ulusal tez merkezinde yer alan iş sağlığı güvenliği alanında yazılmış tezlerin bibliyometrik analizi. Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitim Dergisi 2020; 3(4): 51-68.
- Olçay ZF. (2022). Ulusal tez merkezinde yer alan iş kazaları konusunda yazılmış tezlerin bibliyometrik analizi. Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi 2022; 5(3): 286-297.
- Tekin A., Tekin F., Suvaydan F., Güler G., Hafizoğlu E. İlkokul öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği eğitimi algısının değerlendirilmesi. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi 2021; II(32): 9-18.

Keçi Sütü Üretimi ve Önemi

Hacer TÜFEKÇİ^{1*}

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Yozgat, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2272-4088>

*Sorumlu yazar: hacer.tufekci@bozok.edu.tr

Derleme Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.03.2022

Kabul tarihi: 29.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Keçi sütü

Süt verimi

Süt bileşenleri

Kıl Keçisi

ÖZ

Dünya'daki hızlı nüfus artışı insan beslenmesi için son derece değerli hayvansal kökenli gıdalara olan talebi artırmaktadır. İnsan beslenmesinde önemli olan et ve süt gibi hayvansal gıda üretiminde kullanılan hayvan türleri arasında yer alan keçiler, diğer hayvanlar tarafından yeterince değerlendirilemeyen düşük verimli fundalık, çalılık alanları gibi doğal mera alanlarını etkin biçimde değerlendirerek et, süt ve diğer hayvansal ürünlere dönüştürürler. Elde edilen keçi sütünden; peynir, yoğurt, tereyağı, kefir, krema, kaymak, dondurma, süt tozu, bebek maması, sabun ve kozmetik ürünleri gibi birçok ürün elde edilebilmektedir. Keçi sütü tüm dünyada giderek önem kazanan hayvansal ürünlerden birisidir. Yapısında bulunan bazı organik madde ve mineraller bu sütü diğer çiftlik hayvanlarının sütlerinden daha ayrıcalıklı hale getirmektedir. Keçi sütünün içeriği diğer türlerde olduğu gibi, beslenme, genotip, yönetim koşulları, yaş, doğum tipi, yetiştiricilik yapılan bölgenin konumu ve laktasyon dönemi gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada keçi sütü üretimi ve öneminin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Goat Milk Production and Importance

Reviews Article

Article History:

Received: 30.03.2022

Accepted: 29.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Goat milk

Milk yield

Milk components

Hair Goat

ABSTRACT

The rapid population growth across the globe increases demand for animal origin foods, which are extremely valuable food for human nutrition. The goats used between the animals used in the production of meat and milk, which are important in human nutrition, goats used between the animals used in the production of animal foods, low yielding pasture, heathland and other animals, and turn them well in meat, milk and other products. From goat milk obtained; Many products such as cheese, yogurt, butter, kefir, cream, ice cream, milk powder, baby food, soap and cosmetic products can be obtained. Goat milk is one of the more important animal products around the world. Some organic matter and minerals in its structure make this milk more privileged than the milk of other livestock. The content of goat's milk, as with other species, nutrition, genotype, management conditions, age, the type of birth varies depending on many factors, such as the location of the nurturing area and the lactation period. In this study, it is aimed to reveal the production and importance of goat milk.

To Cite: Tüfekçi H. Keçi Sütü Üretimi ve Önemi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 970-981.

1. Giriş

Hayvancılık dünyada önemli bir endüstri haline gelerek ekonominin ayrılmaz bir parçası olmuştur. Ayrıca insanların sağlıklı beslenmesi ve hayvancılığa dayalı sanayiye hammadde sağlama açısından da önemlidir. Bu durum, hayvancılığın ulusal düzeyde geliştirilmesi gereken stratejik bir sektör olduğunu göstermektedir (Ergün ve Bayram, 2021). Küçükbaş hayvansal üretim, insanların dengeli beslenmesi için gerekli temel gıda maddeleri olan et, süt, gibi ürünleri sağlaması yanında deri, yapağı gibi ürünlerle giyim ve dokuma sanayine hammadde kaynağı sağlaması ile kullanılmayan işgücünü çalışır hale getirir. (Yıldız ve Aygün, 2021). Keçi yetiştiriciliği, sağlıklı beslenmede hayvansal protein ihtiyacını karşılamanın yanında yüksek rakımlı kıraç alanlarda istihdam sağlayarak gelir kaynağı da oluşturmaktadır. Keçilerin yemden yararlanma oranının yüksek olması ve diğer hayvanlar tarafından değerlendirilemeyen yem kaynaklarını kullanarak ürün vermesi keçi yetiştiriciliğinin önemini arttırmaktadır (Koluman ve Daşkıran, 2010; Çelik ve Olfaz, 2017). Koyun ve keçiler yeme karşı kanaatkâr olduğundan çoğu kez yalnız doğal mera ile yetinebilmektedirler. Özellikle de kuraklık, aşırı soğuk, ani iklim değişiklikleri ve bazı hastalıklara karşı dayanıklı olmaları nedeniyle gelişmemiş ve az gelişmiş ülkelerdeki küçük ve orta ölçekli işletmelerin en çok tercih ettiği hayvan türleridir (Kaymakçı, 2006).

Günümüzde dünya nüfusunun artmasıyla birlikte hızla tükenen doğal kaynakların ve çeşitliliğin azaldığı, alternatif kaynaklar bulunmadığı takdirde büyük çevre sorunlarının yaşanacağı ifade edilmektedir. Bu durumda; üreticilere düzenli ve iyi bir gelir, tüketicilere yüksek kalitede protein kaynağı sağlayan hayvancılığın önemi her geçen gün artmaktadır. İnsan ihtiyaçlarının birinci basamağı olan gıda, fizyolojik ihtiyaçlar arasında yer almaktadır ve insan yaşamı için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Keçi sütü de bu noktada tüm dünyada giderek önem kazanan hayvansal ürünlerden biridir. Yapısında bulunan bazı organik madde ve mineraller bu sütü diğer çiftlik hayvanlarının sütlerinden üstün hale getirmektedir (Koyuncu ve ark., 2010). Elde edilen keçi sütlerinden; peynir, yoğurt, süt tozu, tereyağı, kefir, krema, cilt kremleri, sabun, dondurma, bebek maması ve kaymak gibi birçok ürün elde edilebilmektedir. Keçi ekonomik değerinin yanı sıra, dünyada ve ülkemizde kültürel bir öneme de sahiptir. Bu çalışmada ülkemizde keçi sütü üretimi ve öneminin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. Dünya’da ve Türkiye’de Keçi Yetiştiriciliği

Dünya hayvan varlığı içerisinde keçi ve koyunun önemli bir yeri bulunmaktadır. FAO’nun 2022 yılı verileri Tablo 1 ve Tablo 2’de incelendiğinde; Dünya’da 2 391 242 880 baş küçükbaş hayvan bulunduğu ve bu sayının 1 128 106 236 başını keçilerin oluşturulduğu görülmektedir. Keçi sayısının en fazla olduğu ülkeler sırasıyla; Hindistan (%13,3), Çin (%11,8), Nijerya (%7,4), Pakistan (%6,9) ve Bangladeş’tir (%5,3). Türkiye 11 985 845 baş keçi varlığı ile Dünya’da %1,1 oranında bir pay almaktadır. Dünya’da keçi varlığının %50’den fazlası kurak iklimlerde yetiştirilmektedir. Bu durum

aynı zamanda keçilerin sıcaklık stresine adaptasyonu açısından diğer türlere göre daha avantajlı olduğunun da bir göstergesidir (Monteiro ve ark., 2018).

Tablo 1. Dünya küçükbaş hayvan varlığının (baş) yıllar içindeki değişimi (FAO, 2022)

| Yıllar | Keçi | Koyun | Toplam |
|--------|---------------|---------------|---------------|
| 2010 | 874 457 191 | 1 046 140 329 | 1 920 597 520 |
| 2011 | 901 517 441 | 1 065 359 028 | 1 966 876 469 |
| 2012 | 951 405 119 | 1 132 940 091 | 2 084 345 210 |
| 2013 | 969 908 079 | 1 157 187 874 | 2 127 095 953 |
| 2014 | 984 372 329 | 1 151 093 273 | 2 135 465 602 |
| 2015 | 1 004 730 745 | 1 182 177 688 | 2 186 908 433 |
| 2016 | 1 029 023 580 | 1 197 723 570 | 2 226 747 150 |
| 2017 | 1 045 350 517 | 1 206 686 523 | 2 252 037 040 |
| 2018 | 1 066 922 560 | 1 213 972 478 | 2 280 895 038 |
| 2019 | 1 108 972 959 | 1 240 310 138 | 2 349 283 097 |
| 2020 | 1 128 106 236 | 1 263 136 644 | 2 391 242 880 |

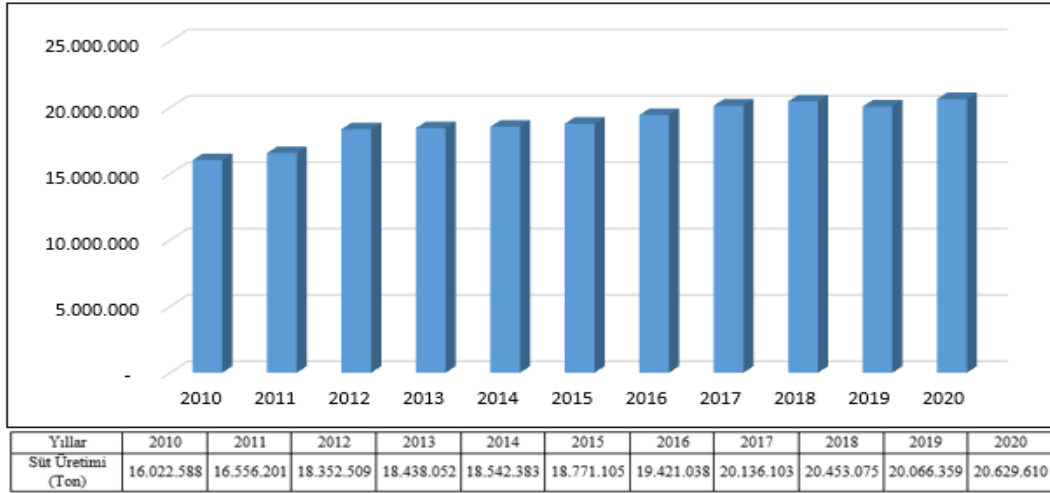
Tablo 2. Ükelere göre keçi varlığı (baş) (FAO, 2022)

| Ülke | Keçi Sayısı | % |
|--------------|-------------|-------|
| Hindistan | 150 248 487 | 13,32 |
| Çin | 133 583 755 | 11,84 |
| Nijerya | 83 715 241 | 7,42 |
| Pakistan | 78 207 000 | 6,93 |
| Bangladeş | 60 026 848 | 5,32 |
| Etiyopya | 52 463 535 | 4,65 |
| Çad | 41 190 044 | 3,65 |
| Kenya | 36 021 177 | 3,19 |
| Sudan | 32 228 194 | 2,86 |
| Mali | 27 810 553 | 2,46 |
| Moğolistan | 27 720 253 | 2,46 |
| Endonezya | 19 096 381 | 1,69 |
| Nijer | 18 832 450 | 1,67 |
| Tanzanya | 18 618 740 | 1,65 |
| Güney Sudan | 17 590 326 | 1,56 |
| İran | 16 663 721 | 1,48 |
| Burkina Faso | 16 407 139 | 1,45 |
| Uganda | 15 429 987 | 1,37 |
| Nepal | 12 811 953 | 1,14 |
| Brezilya | 12 101 298 | 1,07 |
| Türkiye | 11 985 845 | 1,06 |

Dünya’da son yıllarda keçi sütü üretiminde yaşanan artışın sebepleri arasında gelişmiş birçok ülkede özellikle keçi sütünden elde edilen ürünlere olan talebin artışı ve diğer sütlere göre keçi sütünün bazı avantajlara sahip olması sayılabilir (Morand-Fehr ve ark., 2002). Tablo 3 ve Şekil 1 incelendiğinde; Dünya keçi sütü üretiminin 20 629 610 ton olduğu; keçi sütü üretimi en fazla olan ülkelerin ise sırasıyla Hindistan (%28,5), Bangladeş (%13), Sudan (%5,6), Pakistan (%4,7), Fransa (%3,3) ve Türkiye (%2,7) olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Ülkelere göre keçi sütü üretimi (ton)

| Ülkeler | Keçi Sütü | % |
|-------------|-----------|-------|
| Hindistan | 5.888.077 | 28,54 |
| Bangladeş | 2 671 911 | 12,95 |
| Sudan | 1 165 043 | 5,65 |
| Pakistan | 965 000 | 4,68 |
| Fransa | 679 300 | 3,29 |
| Türkiye | 554 143 | 2,69 |
| İspanya | 523 900 | 2,54 |
| Güney Sudan | 467 148 | 2,26 |
| Nijer | 407 346 | 1,97 |
| Hollanda | 407 000 | 1,97 |
| Somali | 377 742 | 1,83 |
| Endonezya | 370 708 | 1,80 |
| Yunanistan | 361 350 | 1,75 |
| İran | 350 831 | 1,70 |
| Cezayir | 332 779 | 1,61 |
| Brezilya | 298 377 | 1,45 |
| Kenya | 276 178 | 1,34 |
| Mali | 255 226 | 1,24 |
| Rusya | 254 357 | 1,23 |
| Romanya | 240 800 | 1,17 |
| Çin | 219 881 | 1,07 |

**Şekil 1. Dünya keçi sütü üretiminin yıllara göre dağılımı (ton)**

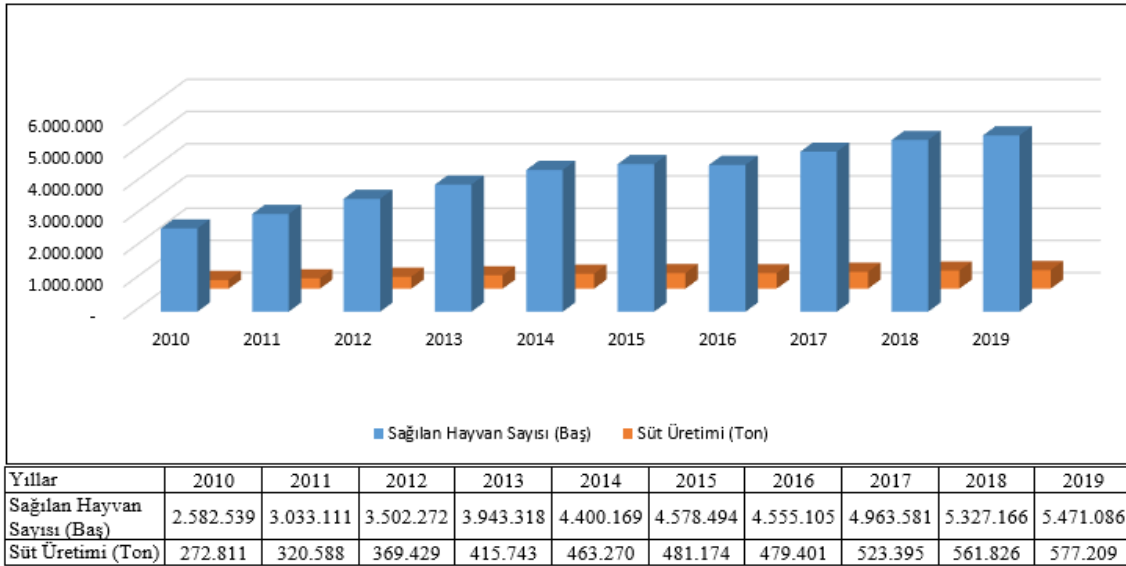
Türkiye’de küçükbaş hayvancılık yarı ekstansif olarak ve genellikle yerli keçi ve koyun ırkları ile yapılmaktadır. Yerli keçi ve koyun ırkları düşük verimlidirler ve meraları en iyi şekilde değerlendirme, hastalıklara ve olumsuz çevre şartlarına karşı dayanıklı olma gibi iyi birçok özelliklere de sahiptirler. Ülkemizin geniş mera alanları ve coğrafik yapısı dikkate alındığında, ucuz maliyetli ve kaliteli hayvancılık için önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Özellikle koyun ve keçi yetiştiriciliği, ülkede yapılabilecek en ucuz maliyetli hayvancılıktır (Alkan, 2010). Ülkemizde 2010 yılında 6 293 233 baş (Tablo 4) keçi yetiştirilmekte iken 2020 yılında bu sayının 11 985 845 başa

yükseldiği görülmektedir (TÜİK, 2022). Keçi varlığımız mevcut küçükbaş hayvan varlığının %22,2'sini oluşturmaktadır. Türkiye’de bölgelere göre farklı ırklar ile keçi yetiştiriciliği yapılmakla beraber, en yaygın yetiştirilen yerli ırk Kıl keçisidir. Türkiye’de 2020 yılında 22 milyon 960 bin ton süt üretilmiş olup mevcut üretimin %90,5’ini inek sütü, %6,6’sını koyun sütü, %2,5’ini keçi sütü ve %0,3’ünü manda sütü oluşturmuştur.

Keçi sütü özellikle son yıllarda ülkemizde de önem kazanmaya başlamıştır. Bunda hem keçi sütünün kendine özgü tadı ve sahip olduğu özellikler hem de ürünlere işleme ve tüketim oranının artması etkili olmuştur. Keçi ve koyun ürünlerinin önem kazanması ve alternatif bir gelir kaynağı olabileceğinin ortaya çıkmasıyla birlikte, Türkiye’nin farklı bölgelerinde küçükbaş hayvancılığın geliştirilmesi konusunda çeşitli kurumlarca çok sayıda projeler oluşturulmuş, uygulamaya aktarılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Engindeniz ve Uçar, 2014).

Tablo 4. Türkiye küçükbaş hayvan varlığı (baş) (TÜİK, 2021)

| Yıllar | Koyun | Keçi | Toplam |
|--------|------------|------------|------------|
| 2010 | 23 089 691 | 6 293 233 | 29 382 924 |
| 2011 | 25 031 565 | 7 277 953 | 32 309 518 |
| 2012 | 27 425 233 | 8 357 286 | 35 782 519 |
| 2013 | 29 284 247 | 9 225 548 | 38 509 795 |
| 2014 | 31 140 244 | 10 344 936 | 41 485 180 |
| 2015 | 31 507 934 | 10 416 166 | 41 924 100 |
| 2016 | 30 983 933 | 10 345 299 | 41 329 232 |
| 2017 | 33 677 636 | 10 634 672 | 44 312 308 |
| 2018 | 35 196 990 | 10 922 427 | 46 119 417 |
| 2019 | 37 278 069 | 11 205 429 | 48 483 498 |
| 2020 | 42 128 801 | 11 985 845 | 54 114 646 |



Şekil 2. Türkiye sağılan keçi varlığı (baş) ve keçi sütü (ton) üretiminin yıllara göre dağılımı

3. Keçi Sütünün Özellikleri ve Elde Edilen Ürünler

Türkiye’de küçükbaş hayvanlardan elde edilen sütler genellikle elle sağım yöntemi ile yarı entansif veya ekstansif koşullarda faaliyet gösteren işletmelerden sağlanmaktadır (Akgün ve Koyuncu, 2020). Keçilerde süt verimi; ırk, genotip, besleme, laktasyon sırası, sağım mevsimi, sağım sıklığı ve şekli gibi çevresel ve genetik faktörlerin etkisi altındadır (Güney ve Kaymakçı, 2006). Sütlerin bileşim ve özellikleri, bu sütlerden üretilen ürünlerin pazarlanmasında ve süt endüstrisinin gelişmesinde önemlidir. Farklı türler ve ırklara ait sütlerin bileşimlerinin farklılık olduğu bilinmektedir. Ayrıca farklı coğrafyalarda yetiştirilen aynı tür ve ırka ait sütlerin bileşimlerinde de farklılıklar bulunabilmektedir (Albenzio ve ark., 2006; Park ve ark., 2007; Raynal-Ljutovac ve ark., 2008; Yüksel ve ark., 2012; Önür, 2015). Tablo 5’te keçi, koyun, sığır ve insan sütlerinde bazı ortalama süt bileşenleri ve fizikokimyasal özellikler verilmiştir. Yararlanılan kaynaklar dikkate alınarak keçi sütünün ortalama, %3,8 yağ, %8,9 yağsız kuru madde, %4,1 laktoz, %3,4 protein, %2,4 kazein ve %0,8 kül içerdiği söylenebilir. Keçi sütü protein, yağ ve laktoz içeriği bakımından inek sütüne benzerdir, anne sütünün ise bu iki türün sütlerine göre laktoz oranı daha yüksek, protein oranı daha düşüktür.

Sütün diğer bileşenlerine göre çevreden daha fazla oranda etkilenebilen süt yağı genotip, ırk, laktasyon periyodu ve beslenme gibi faktörlerden etkilenmektedir (Haenlein ve Wendorff, 2006; Kondyli ve ark., 2012). Yağlar, süttten elde edilen ürünlerin fiyatlandırma, beslenme ve fiziksel özellikleri bakımından da en önemli bileşendir. Keçi sütündeki yağ globüllerinin çapları inek sütüne göre çok daha küçüktür. Yağlar kürecik şeklinde bulunur ve yağ globüllerinin çapının küçük olması sütte yağın daha iyi dağılmasını ve dolayısıyla daha homojen bir yapıda olmasını sağlamaktadır. Keçi sütü yağının çapının küçük olması nedeniyle kümelenmeyerek daha büyük yüzey alanı oluşturması lipaz aktivitesinin artmasıyla birlikte sindirilmesini kolaylaştırmaktadır. Böylece keçi sütündeki yağ diğer türlerin süt yağlarına göre daha kolay ve hızlı sindirilebilmektedir (Park ve ark., 2007; Raynal-Ljutovac ve ark., 2008). Keçi sütünün en karakteristik özelliklerinden biri, kısa zincirli yağ asitleri konsantrasyonunun yüksek olmasıdır. İnek sütü yağının %5-9’u kısa zincirli iken, keçi sütünde kısa zincirli yağ asiti oranı %15-18’dir (Amigo ve Fontecha, 2011). Keçi sütlerindeki metabolik olarak önemli olan kısa ve orta zincirli yağ asitlerinin düzeyleri; kaproik (C6:0), kaprilik (C8:0), kaprik (C10:0) ve laurik (C12:0) inek sütüne kıyasla belirgin bir şekilde daha fazladır. Bu bileşenler aynı zamanda keçi sütünün kendine has kokusuna da neden olmaktadır (Haenlein, 2004; Park ve ark., 2007; Ramos ve Juarez, 2011). Blasi ve Montesano (2008)’nin çeşitli süt yağlarının yağ asidi dağılımını inceledikleri çalışmalarında da kısa zincirli yağ asitlerinden kaprilik (C8:0), kaprik (C10:0) yağ asidi oranları en yüksek keçi sütünde %3,5 ve %11,3 olarak bulunmuştur (Tablo 6).

Anne sütünde laktoz oranı yüksektir (%6,9). İnek sütüyle karşılaştırıldığında, laktoz oranı keçi sütünde daha az düzeydedir. Laktoz dışında keçi ve koyun sütlerinde az miktarda da olsa oligosakkaritler, glikopeptitler ve nükleotid şekeri bulunmaktadır. Keçi sütü, diğer sütlerden oldukça yüksek oranda nükleotid şeker içermektedir (Keçi sütü 154 µmol/100 ml; koyun sütü, 93 µmol/100 ml; inek sütü 68 µmol/100 ml) (Park, 2006; Park ve ark., 2007; Amigo ve Fontecha, 2011). Süttteki nükleotid şekerleri;

glikoprotein, glikolipitler ve oligosakkaritlerin sütteki sentezinde görev alırlar. Keçi sütünde bulunan oligosakkaritlerin çeşitliliğinin önemli olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda keçi sütünün (230 mg/kg) inek sütüne (60mg/kg) göre 4 kat daha fazla sialik asit içerdiği bildirilmiştir. Anne sütünde bu değer 320 mg/kg'dır (Park, 2006; Raynal-Ljutovac ve ark., 2008; Amigo ve Fontecha, 2011). Sialik asit; yeni doğanlarda bağırsak florasının gelişmesine, mukoza hücrelerinin korunmasına ve beyin gelişimine katkıda bulunur (Park ve ark., 2007).

Tablo 5. Keçi, koyun ve inek sütlerinde bazı süt bileşenleri ve fizikokimyasal özelliklere ait ortalama değerler

| Bileşenler | Keçi | Koyun | İnek | İnsan |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|
| Yağ (%) | 3,8 | 7,9 | 3,6 | 4,0 |
| Yağsız kuru madde (%) | 8,9 | 12,0 | 9,0 | 8,9 |
| Laktoz (%) | 4,1 | 4,9 | 4,7 | 6,9 |
| Protein (%) | 3,4 | 6,2 | 3,2 | 1,2 |
| Kazein (%) | 2,4 | 4,2 | 2,6 | 0,4 |
| Albumin, globulin (%) | 0,6 | 1,0 | 0,6 | 0,7 |
| Non-protein azot (%) | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,5 |
| Kül (%) | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,3 |
| Ca (mg/100 g) | 134 | 193 | 122 | 33 |
| Mg (mg/100 g) | 16 | 18 | 12 | 4 |
| P (mg/100 g) | 121 | 158 | 119 | 43 |
| K (mg/100 g) | 181 | 136 | 152 | 55 |
| Na (mg/100 g) | 41 | 44 | 58 | 15 |
| Cl (mg/100 g) | 150 | 160 | 100 | 60 |
| Vit A (IU) | 185 | 146 | 126 | 190 |
| Vit B1 (mg/100 ml) | 68 | 0,41 | 0,08 | 0,17 |
| Vit B12 (µg) | 0,065 | 43 | 2 | 3,6 |
| Vit B2 (mg/100 g) | 0,14 | 0,35 | 0,17 | 0,03 |
| Vit B3 (mg) | 0,20 | 0,42 | 0,09 | 0,1 |
| Vit B5 (mg/100 g) | 0,31 | 0,41 | 0,34 | 0,18 |
| Vit C (mg/100 ml) | 1,29 | 4,16 | 0,94 | 5,00 |
| Vit D (µg) | 0,06 | 0,18 | 0,08 | 0,06 |
| Özellik | Keçi | Koyun | İnek | |
| Yoğunluk | 1,029-1,039 | 1,0347-1,0384 | 1,0231-1,0398 | - |
| Viskozite (Cp) | 2,12 | 2,86-3,93 | 2 | - |
| Yüzey gerilimi (Dyn/cm) | 52 | 44,94-48,7 | 42,3-52,1 | - |
| İletkenlik ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$) | 0,0043-0,0139 | 0,0038 | 0,0040-0,0055 | - |
| Refraktif indeks | 1,450±0,39 | 1,3492-1,3497 | 1,451±0,35 | - |
| Donma noktası (- °C) | 0,540-0,573 | 0,57 | 0,53-0,57 | - |
| Laktik asit (%) | 0,14-0,23 | 0,22-0,25 | 0,15-0,18 | - |
| pH | 6,5-6,8 | 6,51-6,85 | 6,65-6,71 | - |

Kaynak: Park, 2006; Park ve ark., 2007; Raynal-Ljutovac ve ark., 2008; Önür, 2015

Keçi sütünün ortalama protein oranı inek sütü ile benzerdir ve esansiyel amino asit içeriği sağlıklı bir beslenme için önerilen günlük alım düzeyinin üzerindedir. Ayrıca keçi sütü protein bileşimi bakımından anne sütüne daha yakındır. Sütteki proteinler kazeinler ve whey (serum) proteinleri olarak iki gruba ayrılır. Kazeinler; α 1-kazein, α 2-kazein, β -kazein, κ -kazein, serum proteinleri ise β -laktoglobulin ve α -laktalbumindir (Coşkun ve Öndül, 2004). Keçi sütünde %19 α 1-kazein, %21 α 2-kazein ve %60 β -kazein bulunurken, inek sütünde kazeinlerin %55 α -kazein, %30 β -kazein ve %15 κ -kazein bulunmaktadır (Clark ve Sherbon, 2000). İnek sütünde α -kazeinler daha fazla bulunurken anne ve keçi sütlerinde β -kazeinler daha fazla bulunmaktadır. Miktarı bakımından keçi sütünün ana proteini

β -kazeindir. Keçi sütündeki α 1-kazein miktarı (0,12-2,7 g/l) genellikle diğer ruminant sütlerinden azdır (Park, 2006; Raynal-Ljutovac ve ark., 2008). Yapılan çalışmalarda, keçi sütünün, inek sütüne göre daha az alerjen olması nedeniyle inek sütü alerjisi olan çocuklar için uygun bir besin kaynağı olduğu bildirilmiştir (Prosser ve ark., 2003; Fiocchi ve ark., 2010). Bununla birlikte farklı türlerin süt proteinlerinin bağışıklık sistemi üzerinde çapraz reaktiviteye neden olabileceği bildirilmiştir (Dhesi ve ark., 2020). Dolayısıyla inek sütüne alerjisi olan bebeklerin aynı zamanda keçi sütüne de alerjisi olabileceği unutulmamalıdır.

Keçi sütünün, yüksek oranda A Vitamini, riboflavin, niasin, kalsiyum, potasyum, magnezyum, fosfor, klor, manganez ve selenyum içermesi besleyici özelliğini daha da arttırmaktadır. Keçi ve koyun sütleri, inek sütünden daha fazla oranda A vitamini içermektedir. Keçi sütündeki β -karotenin tamamı A vitaminine dönüştürüldüğünden, keçi sütü inek sütünden daha beyaz algılanır (Walstra ve ark., 2006; Park ve ark., 2007, Amigo ve Fontecha, 2011). Keçi sütünün yoğunluğu 1,029-1,039 g/cm³ arasında değişmekte, yüzey gerilimi inek sütününkine yakın, viskozitesi ise daha yüksektir. Koyun sütünün viskozitesi ise keçi sütünden belirgin şekilde daha yüksektir. (Adam, 1972; Park ve ark., 2007).

Tablo 6. Keçi, koyun, inek ve manda süt yağlarının yağ asidi dağılımı (%)

| Yağ Asidi | Keçi | Koyun | İnek | Manda |
|---------------|----------|----------|----------|----------|
| C4:0 | 5,3±1,0 | 10,3±1,5 | 6,0±0,8 | 7,2±0,2 |
| C6:0 | 2,9±0,8 | 3,4±0,7 | 2,9±0,6 | 0,7±0,2 |
| C8:0 | 3,5±0,1 | 2,5±0,5 | 1,7±0,2 | 1,0±0,0 |
| C10:0 | 11,4±1,4 | 6,1±2,1 | 3,4±0,6 | 2,4±0,1 |
| C12:0 | 3,8±1,1 | 3,0±0,7 | 3,9±0,9 | 2,8±0,1 |
| C14:0 | 8,8±0,1 | 7,0±0,4 | 13,1±1,2 | 11,7±0,2 |
| C16:0 | 23,1±2,4 | 19,8±0,7 | 31,6±2,6 | 34,2±0,5 |
| C16:1n-7 | 0,5±0,0 | 0,7±0,1 | 1,8±0,3 | 2,1±0,0 |
| C18:0 | 11,2±0,9 | 11,8±1,2 | 6,6±1,4 | 10,5±0,4 |
| C18:1n-9 | 19,0±1,3 | 22,8±2,1 | 19,2±4,3 | 18,8±0,5 |
| C18:2n-6 | 1,6±0,2 | 2,7±1,5 | 1,9±0,2 | 2,0±0,0 |
| C18:3n-3 | 0,5±0,1 | 0,8±0,2 | 0,2±0,1 | 0,2±0,0 |
| Diğerleri | 8,4 | 9,2 | 7,7 | 6,7 |
| n-6/n-3 oranı | 3,2 | 3,4 | 9,5 | 10,0 |

Kaynak: Blasi ve Montesano, 2008

Keçi sütünün beslenme ve özellikle sağlık üzerine olumlu etkilere sahip olması, elde edilen ürünlerin karakteristik hoş bir tat ve aroma içermesi sahip oluşu son zamanlarda Dünya'da keçi yetiştiriciliğinin önemini artırmıştır (Kılıç ve ark., 2002). Türkiye'de keçi sütü ve ürünleri üretimi Kıl keçilerine dayalı olarak yürütülmektedir. Üretilen keçi sütleri genellikle koyun ve/veya inek sütü ile karıştırılarak peynire işlenmekte veya doğrudan dondurma üretiminde kullanılmaktadırlar (Savran ve ark., 2011). Kırsal kesimde geleneksel olarak birçok ailenin tükettiği keçi sütü ve ürünleri, lezzeti, aroması ve kalitesiyle önem kazanmış, kentsel yoğunlaşma ve turizmin gelişmesiyle de giderek aranır hale gelmiştir. (Engindeniz ve ark., 2017). Ülkemizde keçi sütlerinden; peynir, yoğurt, tereyağı, kefir, krema, kaymak, dondurma, süt tozu, bebek maması, sabun ve kozmetik ürünleri gibi birçok ürün elde edilmektedir (Şekil 3). Keçi sayısının fazla olduğu gelişmekte olan ülkelerde yapılan araştırmalarda

keçiciliğin ekonomik yönü yanında, sosyal yönü de olduğu ortaya konulmuştur (Alam, 2000; Kumar ve Deoghare, 2000). Ülkemizde keçi sütü kullanılarak farklı bölgelerimizde elde edilen ürünlerden olan Sivas ve Hatay yöresinde kış yoğurdu (tuzlu yoğurt) yapımında (Köse, 2018), Kahramanmaraş yöresinde Maraş dondurması yapımında (Kaya ve ark., 2017), Türkiye coğrafi işaretli peynirlerden olan Ezine Peyniri, Malkara Eski Kaşar Peyniri yapımında (Saygılı ve ark., 2020), İzmir tulum peyniri, İvrindi kelle peyniri, Antakya tuzlu yoğurdu, Silifke yoğurdu yapımında da keçi sütü kullanılmaktadır (TPE, 2022).



Şekil 3. Keçi sütünden elde edilen bazı ürünler

4. Sonuç ve Öneriler

Keçi yetiştiriciliği, keçilerin selülozca zengin yemlerden yararlanma oranının yüksek olması ve diğer hayvanlar tarafından değerlendirilemeyen yem kaynaklarını kullanarak ürün elde edilmesi, işletmenin kurulması ve gerekli hayvan materyalinin sağlanması için ihtiyaç duyulacak sermayenin diğer hayvan türleri için hesaplanandan daha az oluşu, bakım masraflarının az oluşu, döl veriminin yüksek olması ve gebelik süresinin kısa olması gibi avantajlara sahiptir. Kırsal kesimde daha çok aile tüketimine yönelik olarak üretilen keçi sütü ve ürünleri, tüketicilerin sağlığa uygun gıdalar tercih etmeye başlamasıyla lezzet, aroma ve kalitesiyle kentsel alanda da giderek önemli hale gelmiş ve tüketicilere damak tadı için farklı lezzetler sunan ürünler her geçen gün raflarda çoğalarak yerini almaya başlamıştır.

Keçi sütünün pazarlanmasında üreticiler alıcılara tam bağımlıdır. Elde edilen sütün bir kısmı işletme içinde tüketilmekte, bir kısmı ise mandıralara ya da entegre süt işleyen işletmelere çiğ olarak pazarlanmakta, bir kısmı da peynire işleyerek yerel pazarlarda satılmakta veya tüccarlara pazarlanmaktadır. Keçi yetiştiriciliğinde üretimi artırmak için, desteklemelerin devam etmesi ile birlikte bazı yapısal değişimlere de ihtiyaç vardır. Küçük ve dağınık işletmelerin büyümesi ve birleştirilmesi, uzmanlaşmış işletmeler durumuna dönüştürülmesi, bu üreticilerin aynı zamanda işleyici de olması sağlanmalıdır. Yetiştiricilerin, süt kalitesi üzerine önemli etkileri olduğu bilinen

sağlık koruma ve besleme koşullarını iyileştirmek amacıyla desteklenmeleri de sağlanmalıdır. Keçi sütü üreticileri, gıda güvenilirliği ve üretimin bütün aşamalarında kayıt tutma konularında, tüketiciler ise keçi sütü ve ürünlerinin önemi, yararları konusunda bilinçlendirilmelidir.

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

- Adam RC. Keçi sütü. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 1972; 179: 1-86.
- Akgün H., Koyuncu M. Yetiştirici koşullarında Kıvrıcık ırkı koyunlarda süt verim özelliklerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv. Tarım ve Doğa Derg. 2020; 23(5): 1406-1413.
- Alam MR. Goat raising in small-holder farming systems in Bangladesh. Proceedings of 7th International Conference on Goats, 15-21 May 2000, sayfa no: 329-330, France.
- Albenzio M., Caroprese M., Marino R., Muscio A., Santillo A., Sevi A. Characteristics of Garganica goat milk and Cacioricotta cheese. Small Rumin Res, 2006; 64: 35-44.
- Alkan M. Küçükbaş hayvancılığın acı sonu, <https://www.ciftlikdergisi.com.tr/kucukbas-hayvanciligini-aci-sonu/29/08/2010>, Erişim tarihi: 03.01.2022.
- Amigo L., Fontecha, J. Goat milk. In: Encyclopedia of dairy sciences, Fuquay JW (chief ed), UK, Second Edition, Academic Press 2011; 484-493.
- Blasi F., Montesano D. Results of stereospecific analysis of triacylglycerol fraction from donkey, cow, ewe, goat and buffalo milk. Journal of Food Composition and Analysis 2008; 21: 1-7.
- Clark S, Sherbon JW. Alphas1-casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. Small Rumin Res. 2000; 38: 123-134.
- Coşkun H., Öndül E. Keçi sütü ve insan beslenmesindeki önemi. Gıda 2004; 29(6): 411-418.
- Çelik HT., Olfaz M. Kıl keçi ve Saanen x Kıl (F1, G1 ve G2) melez oğlakların 6. ay vücut ölçüleri ve bu ölçülere etki eden faktörlerin belirlenmesi. Akademik Ziraat Dergisi 2017; 6(2): 161-168.
- Dhesi A., Ashton G., Raptaki M., Makwana N. Cow's milk protein allergy. Paediatrics and Child Health 2020; 30(7):255-260.
- Engindeniz S., Uçar K. Kırsal kesimde alternatif yatırım alanı: süt keçisi yetiştiriciliği. 11. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 2014; 3-5.
- Engindeniz S., Aktürk D., Savran AF., Koşum N., Taşkın T., Kesenkaş H., Gökmen M., Uzmay A., Çınar G. İzmir, Çanakkale ve Balıkesir illerinde keçi sütü ve ürünleri tüketiminin analizi üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2017; 54(4): 385-395.

- Ergün OF., Bayram B. Türkiye'de hayvancılık sektöründe yaşanan değişimler. Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi 2021; 10(2): 158-175.
- FAO. Dünya Gıda ve Tarım Örgütü. FAOSTAT, Livestock Primary. Erişim tarihi: 01.01.2022.
- Fiocchi A., Brozek J., Schünemann H., Bahna SL., von Berg A., Beyer K., Bozzola M., Bradsher J., Compalati E., Ebisawa M., Guzman MA., Li H., Heine RG., Keith P., Lack G., Landi M., Martelli A., Rance F., Sampson H., Stein A., Terracciano L., Vieths S. World allergy organization (WAO) diagnosis and rationale for action against cow's milk allergy (DRACMA) guidelines. *Pediatr. Allergy Immunol* 2010; 21 (Suppl.21): 1-125.
- Güney O., Kaymakçı M. Keçilerde süt üretimi, keçi yetiştiriciliği. Editör: Kaymakçı, M. İzmir: Meta Basım Mat. Hizmetleri, İzmir İli Damızlık Koyun-Keçi Birliği Yayınları 2006; 2: 83-91
- Haenlein GFW. Goat milk in human nutrition. *Small Rumin Research* 2004; 51: 155-163.
- Haenlein GFW., Wendorff WL. Sheep milk -production and utilization of sheep milk. In: Park, YW, Haenlein GFW (eds). *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK, and Ames, Iowa, USA 2006; 137-194.
- Kaya E., Karabekmez Erdem T., Tekin FB. Maraş dondurması üretimi ve üretilen dondurmanın fizikokimyasal niteliklerinin belirlenmesi. *Caucasian Journal of Science* 2017; 4(1): 45-56.
- Kaymakçı M. İleri koyun yetiştiriciliği. Genişletilmiş 1. baskı. Ege üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, sayfa no:365, 2006.
- Kılıç S., Uysal H., Kavas G., Kesenkaş H., Akbulut N. Pilot tesis koşullarında pastörize keçi sütünden Çimi peyniri üretimi. *Ege Üniv Ziraat Fak Dergisi* 2002; 39(3): 56-63.
- Koluman N., Daşkiran İ. Keçi yetiştiriciliğinin küresel iklim değişimine adaptasyonu ve etkileri azaltmaya yönelik stratejiler. Ulusal Keçicilik Kongresi, 2010, sayfa no: 60-67, Çanakkale.
- Kondyli E., Svarnas C., Samelis J., Katsiari MC. Chemical composition and microbiological quality of ewe and goat milk of native Greek breeds, *Small Rumin Res.* 2012; 103: 194-199.
- Koyuncu M., Taşkın T., Kaymakçı M. Keçi sütünün insan sağlığı açısından önemi. Ulusal Keçicilik Kongresi, 2010, sayfa no: 355-358, Çanakkale.
- Köse Ş. Kış yağurdu. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018, 8(2): 115-121.
- Kumar S., Deoghare PR. Goat rearing and rural poor: a case study from India. *Proceedings of 7th International Conference on Goats*, 15-21 May 2000, p.554-556, France
- Monteiro ALG., Coelho da Fonseca Faro AM., Peres MTP., Batista R., Poli CHEC., Villalba JJ. The role of small ruminants on global climate change. *Acta Scientiarum Animal Sci.* 2018; 40: 43124.
- Morand-Fehr P., Richard A., Tessier J., Hervieu J. Effects of decoquinate on the growth and milk performance of young female goats. *Small Rumin. Res.* 2002; 45 (2): 109-114.
- Önür ZY. Keçi ve koyun sütlerinin kimyasal bileşimleri. *Gıda* 2015; 40(6): 363-371.
- Park YW., Juarez M., Ranos M., Haenlein GFW. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin Res.* 2007; 68: 88-113.

- Park YW. Goat milk chemistry and nutrition. In: Park YW, Haenlein GFW. Handbook of milk of non-bovine mammals. Blackwell Publishing Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, USA, 2006; 34-58.
- Prosser C., Stelwagen K., Cummins R., Guerin P., Gill N., Milne C. Reduction in heat induced gastrointestinal hyperpermeability in rats by bovine colostrum and goat milk powders. *Journal of Applied Physiology* 2003; 96: 650-654.
- Ramos M., Juarez M. Sheep milk. In: Encyclopedia of dairy sciences, Fuquay JW (chiefed), Second Edition, UK: Academic Press 2011; 494-502.
- Raynal-Ljutovac K., Lagriffoul G., Paccard P., Guillet I., Chilliard Y. Composition of goat and sheep milk products: An uptade. *Small Rumin Res.* 2008; 79: 57-72.
- Savran F., Aktürk D., Dellal İ., Tatlıdil F., Dellal G., Pehlivan E. Türkiye’de seçilmiş bazı illerde keçi sütü ve ürünleri tüketimine etkili faktörler. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.* 2011; 17(2): 251-256.
- Saygılı D., Demirci H., Samav U. Coğrafi işaretli Türkiye peynirleri. *Aydın Gastronomy* 2020; 4(1): 11-21.
- TPE. Türkiye Patent Enstitüsü. <https://www.turkpatent.gov.tr/TURKPATENT/>, Erişim tarihi: 18.02.2022.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu hayvancılık istatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 01.02.2022.
- Walstra P., Wouters JTM., Geurts TJ. Dairy science and technology. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, 2006; 763.
- Yıldız A., Aygün T. Van ili merkez ilçede küçükbaş hayvancılık faaliyetleri ve genel sorunlar: II. işletmelerde yetiştirme işleri. *Hayvan Bilimi ve Ürünleri Dergisi* 2021; 4(1): 37-53.
- Yüksel Z., Avcı E., Uymaz B., Erdem YK. General composition and protein surface hydrophobicity of goat, sheep and cow milk in the region of Mount Ida. *Small Rumin Res.* 2012; 106: 137-144.

Antosiyaninlerin Yapısı, Hücrede Biyosentezi, Etkinlikleri ve Kullanım Alanları

Elif ONAN^{1*}, Hatice ÇÖLGEÇEN²

^{1,2}Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Zonguldak

¹<https://orcid.org/0000-0003-1413-2234>

²<https://orcid.org/0000-0001-8246-4279>

*Sorumlu yazar: elifonan@hotmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 14.04.2022

Kabul tarihi:08.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Antosiyanin

Biyosentez

Sitoloji

Kullanım alanları

ÖZ

Antosiyaninler, bitki sekonder metabolitlerinden fenilproponoid yolla sentezlenen fenolik bileşikler sınıfının flavonoid grubuna ait pigmentlerdir. Fenolik bileşikler, diyabet, beyin ve kalp sağlığı, bazı kanserlere karşı yararları olduğu bilinen maddelerdir. Antosiyanin bileşikleri, angiospermlerin çoğu meyve, sebze ve çiçeğinde somon rengi, pembeden kırmızıya ve menekşeden koyu maviye kadar değişen çoğu rengin ana nedenidir. Antosiyaninler bitkiler için, böceklerle tozlaşmayı sağlayan ve tohum dağıtıcılarının ilgisini çeken maddelerdir. Bunun dışında güçlü antioksidan özellikleri vardır. Abiyotik ve biyotik stres etmenlerine karşı koruma sağlarlar. Hücre seviyesinde zincirleme tepkimelere yol açarak hasara neden olan serbest radikalleri üreten oksidasyon sürecini engellemektedir. Sağlık üzerindeki önemli etkileri antosiyaninleri yakın geçmişte ve günümüzde merak edilen, araştırılan bir konu haline getirmiştir. Bu derlemede antosiyaninlerin yapısı, biyosentezi, kullanım alanları geniş kapsamlı olarak sunulmuştur.

Structure of Anthocyanins, Biosynthesis in Cell, Activities and Usage Areas

Review Article

Article History:

Received: 14.04.2022

Accepted: 08.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Anthocyanin

Biosynthesis

Cytology

Usage areas

ABSTRACT

Anthocyanins are pigments belonging to the flavonoid group of the class of phenolic compounds synthesized from plant secondary metabolites by the phenylproponoid route. Phenolic compounds are substances known to have benefits against diabetes, brain and heart health, and some cancers. Anthocyanin compounds are the main cause of most colors in most fruits, vegetables and flowers of angiosperms, ranging from salmon to pink to red and violet to deep blue. Anthocyanins are substances for plants that provide insect pollination and attract the attention of seed dispersers. Apart from that, it has strong antioxidant properties. They provide protection against abiotic and biotic stressors. It inhibits the oxidation process that produces free radicals that cause chain reactions at the cell level and cause damage. Its important effects on health have made anthocyanins a curious and researched topic in the recent past and today. In this review, the structure, biosynthesis and usage areas of anthocyanins are presented in a comprehensive manner.

To Cite: Onan E., Çölgeçen H. Antosiyaninlerin Yapısı, Hücrede Biyosentezi, Etkinlikleri ve Kullanım Alanları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 982-1005.

1.Giriş

Antosiyaninler, bitki sekonder metabolitlerinden fenilproponoid yolla sentezlenen fenolik bileşikler sınıfının flavonoid grubuna ait pigmentlerdir (Barros ve ark., 2016). Bitkilerde yaygın olarak bulunan en önemli pigment gruplarından biri olarak kabul edilmektedir (Kong ve ark., 2003). Çeşitli bitkilerin kök, gövde, yaprak, çiçek, meyve ve tohum kısımlarının pembe, turuncu, kırmızı, mor veya mavi olmasını sağlayan, suda çözünen önemli bir flavonoid pigment türü olan antosiyaninler 2-fenilbenzopirillium veya flavilyum tuzlarının polihidroksi ve polimetoksi türevlerinin glikozitleridir (Zhao ve ark., 2020). Antosiyanin yapısı ve rengi pH değişimi ile geri dönüşümlü olarak değişir: pH 1-3'te flavilyum katyonu (kırmızı), pH 4-5'te karbinol pesudobaz ve kalkon (renksiz) ve pH 5'in üzerinde kinoidal anhidrobaz (mavi) olarak değişir (Koh ve ark., 2020). Doğal olarak oluşan antosiyaninler, glikozillenmiş formunda olup glikoz, arabinoz, ramnoz, ksiloz veya antosiyanidin iskeletine konjüge edilmiş galaktoz gibi şeker parçalarına sahiptirler (Huang ve Zhou, 2019). Aralarındaki temel farklar, hidroksile grupların ve yapılarına bağlanan şekerlerin sayısı, moleküldeki şekere bağlı alifatik veya aromatik karboksilatlar ve bu bağların pozisyonudur (Castañeda-Ovando ve ark., 2009). Antosiyaninler, kalkon sentaz (CHS), flavanon 3-hidroksilaz (F3H), flavanon 3'-hidroksilaz (F3'H), dihidroflavonol 4-redüktaz (DFR), Antosiyanidin sentaz (ANS) ve UDP-glukoz: flavonoid 3-O-glukosiltransferaz (UFGT) gibi bir dizi enzimin dahil olduğu flavonoid yol boyunca biyosentezlenir ve vakuolde biriktirilir (Holton ve Cornish, 1995; Boss ve ark., 1996; Takos ve ark., 2006). pH, sıcaklık, ışık, oksijen, metal iyonları, molekül içi ilişki ve diğer bileşiklerle (kopigmentler, şekerler, proteinler, bozunma ürünleri, vb.) moleküller arası ilişki genellikle antosiyaninlerin rengini ve stabilitesini etkilemektedir (Andersen ve ark., 2007).

Antosiyaninler, doğal antioksidanlar olarak görev yapar. Serbest radikallere ve zararlı maddelere karşı korur. Protein, DNA ve lipit gibi moleküllerin okside olmasını önler. Kronik hastalık risklerini azaltır, iltihabı hafifletir. DNA hasarlarını onardığı, tümörleşmiş hücrelerde apoptozu indüklediği, lipoprofilleri normalleştirdiği, vasküler endotelial fonksiyonunu iyileştirdiği, trombosit reaktivitesini azalttığı ve nörotoksitenin iyileştirilmesine katkı sağladığı tespit edilmiştir. Antosiyaninler endüstride de kullanılmakta, kozmetikte kullanılmakta, gıdalara renk çekiciliği katmalarının yanında radikal maddelere karşı aktiviteleri nedeniyle eklendiği gıdaların oksidatif stabilitelelerini de yükseltmektedir (Espin ve ark., 2000).

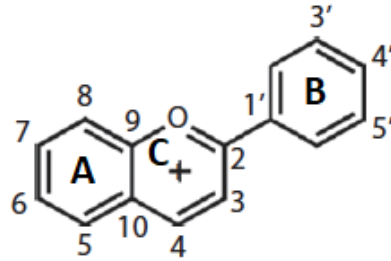
2. Antosiyaninin Moleküler Özellikleri

Antosiyaninler, başta çiçekler olmak üzere, meyve, depolama organları, sap ve taneler olmak üzere çok çeşitli bitki dokularının çekici uçuk sarı, turuncu, kırmızı, macenta, menekşe ve mavi renginden büyük ölçüde sorumlu olan, suda çözünür antosiyanidin glikozitleridir (Chemler ve ark., 2009; Martin ve ark., 2017). Bir ya da birden fazla hidroksil bağlanmış olan bir benzen halkası içeren bu bileşikler, fenolik bileşik ya da polifenol olarak tanımlanmışlardır. Fenolik bileşikler bitkilerde en fazla görülen bileşik sınıfıdır (Anonim, 2013; Selamoğlu, 2017). Bitkilerde büyüme, gelişme, kendini korumada

işlevleri olan kalabalık bir molekül grubunu temsil ederler (Vermerris ve Nicholson, 2008). Fenolik maddeler flavonoid, hidroksibenzoik asit, hidroksisinamik asit olarak üç gruba ayrılır. Moleküler yapılarına göre ise 6 gruba ayrılır: flavanonlar, antosiyanidinler, flavonoller, flavanoller (kateşinler), flavonlar ve izoflavonlar (Cutler ve ark., 2008; Wang ve ark., 2009; Gibellini ve ark., 2011). Bugüne kadar, yaklaşık 25 doğal olarak oluşan antosiyanidin olmasına rağmen 700'den fazla yapısal olarak farklı antosiyanin molekülü tanımlanmıştır (Mortensen, 2006; Chu ve ark., 2011; Wallace ve Giusti, 2015; Wallace ve Giusti, 2019). Ancak doğada bulunanların yalnızca altı tanesi (yaklaşık %90'dır) siyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin, peonidin ve petunidin glikozitler halinde bulunur (Kong ve ark., 2003). Bu antosiyaninlerin tahmini dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Antosiyanidinlerin meyve ve sebzelerde tahmini dağılımı (Castañeda-Ovando ve ark., 2009)

| Dağılımı (%) | |
|------------------|----|
| Siyanidin | 50 |
| Peonidin | 12 |
| Delfinidin | 12 |
| Pelargonidin | 12 |
| Malvidin | 7 |
| Petunidin | 7 |



Şekil 1. Antosiyaninlerin temel yapısını oluşturan üç benzen halka (Wallace ve Guisti, 2009)

Tablo 2. Aynı C15-iskeletine, 2-fenilbenzopiriliuma dayalı doğal olarak oluşan antosiyanidinlerin yapıları (Wallace ve Guisti, 2009).

| | <i>İkame Modeli</i> | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>Substitution Pattern</i> | | | | | | |
| Antosiyanin | 3 | 5 | 6 | 7 | 3' | 4' | 5' |
| | <i>Ortak Antosiyanidinler</i> | | | | | | |
| | <i>Common Anthocyanidins</i> | | | | | | |
| Pelargonidin (Pg) | OH | OH | H | OH | H | OH | H |
| Siyanidin (Cy) | OH | OH | H | OH | H | OH | H |
| Delfinidin (Dp) | OH | OH | H | OH | OH | OH | OH |

| | | | | | | | |
|--|---|------------------|----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Peonidin (Pn) | OH | OH | H | OH | OCH ₃ | OH | H |
| Petunidin (Pt) | OH | OH | H | OH | OCH ₃ | OH | OH |
| Malvidin (Mv) | OH | OH | H | OH | OCH ₃ | OH | OCH ₃ |
| | <i>A-Halka Metiloksillenmiş Antosiyaninler</i> <i>A-Ring Methoxylated Anthocyanidins</i> | | | | | | |
| 5- <i>O</i> -Metilsiyanidin | OH | OCH ₃ | H | OH | OH | OH | H |
| 7- <i>O</i> -Metilsiyanidin | OH | OH | H | OCH ₃ | OH | OH | H |
| 7- <i>O</i> -Metilpeonidin | OH | OH | H | OCH ₃ | OCH ₃ | OH | H |
| 7- <i>O</i> -Metildelfinidin | OH | OH | H | OCH ₃ | OH | OH | OH |
| 7- <i>O</i> -Metilpetunidin | OH | OH | H | OCH ₃ | OCH ₃ | OH | OH |
| 7- <i>O</i> -Metilmalvidin | OH | OH | H | OCH ₃ | OCH ₃ | OH | OCH ₃ |
| 5,7-Di- <i>O</i> -Metildelfinidin | OH | OCH ₃ | H | OCH ₃ | OH | OH | OH |
| 5,7-Di- <i>O</i> -Metilpetunidin | OH | OCH ₃ | H | OCH ₃ | OCH ₃ | OH | OH |
| 5,7-Di- <i>O</i> -Metilmalvidin | OH | OCH ₃ | H | OCH ₃ | OCH ₃ | OH | OCH ₃ |
| | <i>6-Hidroksillenmiş Antosiyaninler</i> <i>6-Hydroxylated Anthocyanidins</i> | | | | | | |
| 6-Hidroksipelargonidin | OH | OH | OH | OH | H | OH | H |
| 6-Hidroksisiyanidin | OH | OH | OH | OH | OH | OH | H |
| 6-Hidroksidelfinidin | OH | OH | OH | OH | OH | OH | OH |
| | <i>3-Deoksiantosiyaninler</i> <i>3-Deoxyanthocyanidins</i> | | | | | | |
| Apigeninidin (Ap) | H | OH | H | OH | H | OH | H |
| Luteolinidin (Lt) | H | OH | H | OH | OH | OH | H |
| Trisetinidin (Tr) | H | OH | H | OH | OH | OH | OH |
| 7- <i>O</i> -Metilapigenidin | H | OH | H | OCH ₃ | H | OH | H |
| 5- <i>O</i> -Metilluteolinidin | H | OCH ₃ | H | OH | OH | OH | H |
| 6-Hidroksi-5- <i>O</i> -metilapigeninidin | H | OCH ₃ | OH | OH | H | OH | H |
| 6- <i>O</i> -Hidroksi-5,4'-di- <i>O</i> -metilapigeninidin | H | OCH ₃ | OH | OH | H | OCH ₃ | H |
| 6-Hidroksi-5- <i>O</i> -metilluteolinidin | H | OCH ₃ | OH | OH | OH | OH | H |
| 6- <i>O</i> -Hidroksi-5,4'-di- <i>O</i> -metilluteolinidin | H | OCH ₃ | OH | OH | OH | OCH ₃ | H |

Antosiyaninlerin temel yapısı 15 karbondan oluşmaktadır. Flavonoidlerin temel iskelet yapısı olan C6-C3-C6 halka yapısına sahiptirler (Horbowicz ve ark., 2008). A ve B olarak isimlendirilen ve 3 karbonlu bir köprü ile birbirine bağlanan 2 adet fenil halkasından oluşmaktadır. Bu köprülerin

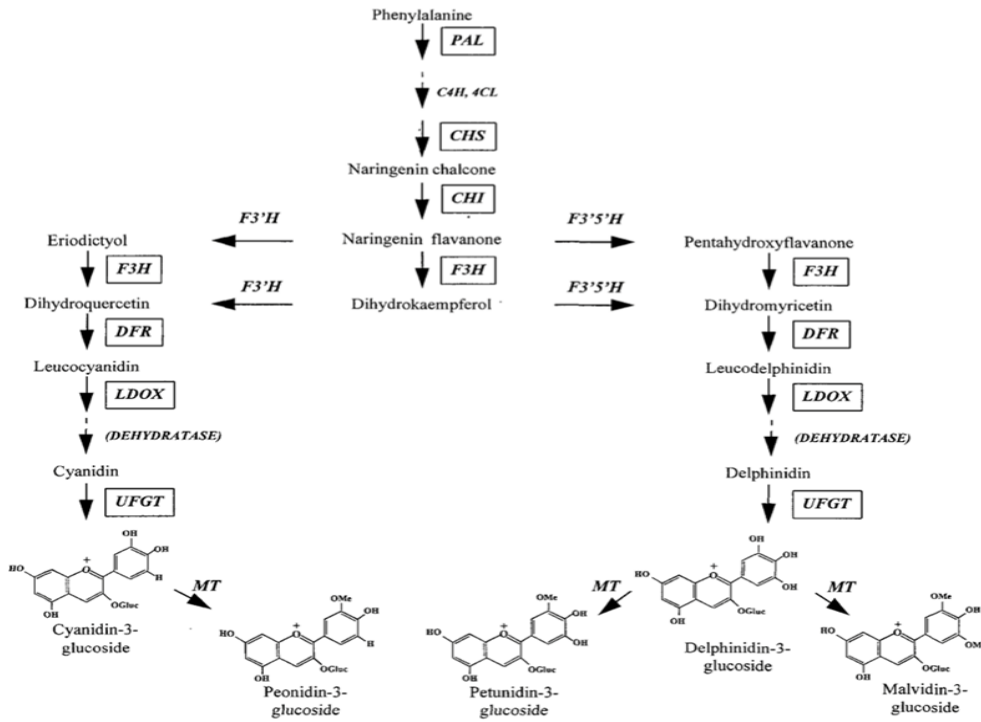
oluşturduğu yapı ise üçüncü bir halkayı meydana getirir ve C halkası olarak isimlendirilir (Şekil 1) (Sancho ve Pastore, 2012). Aglikon (şeker olmayan) kısmını fenolik yapıda antosiyanidinler oluşturur. Aglikona glikozidik olarak bağlanan sakkaritlerin çeşidine göre farklı antosiyaninler ortaya çıkmaktadır (Giusti ve Wrolstad, 2003). Antosiyaninler bitkilerde en sık olarak 3-monosidler, 3-biyosidler ve 3-triosidler ile 3,5-diglikozitler ve daha nadiren şekerler glikoz, galaktoz, ramnoz, arabinoz ve ksiloz ile ilişkili 3,7-diglikozitler olarak bulunur (Mazza ve Miniati, 1993; Vermerris ve Nicholson, 2006; Tomic ve ark., 2017). Antosiyanidinler, karbon halkasında 2 tane çift bağ içerir. Bu özellikleri pozitif yüklü olmalarına neden olur (He ve ark., 2010). Antosiyaninler halkalarında bulunan grupların çeşidine bağlı olarak antosiyanin çeşitleri oluşturur (Tablo 2). Antosiyaninlerde hidroksilasyon ile doğru orantılı olarak mavileşme artmaktadır. Sırasıyla pelargonidin, siyanidin ve delfinidine doğru mavileşme artmaktadır. Metillenme ve glikosillenme ile doğru orantılı olarak renk kırmızıya dönmektedir. Siyanidinden peonidine doğru kırmızı renk artmaktadır (Acar, 1998; Mortensen, 2006; Tanaka ve ark., 2008; Bueno ve ark., 2012; Martin ve ark., 2017). Antosiyaninlerin rengi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. İyonik yapıları nedeniyle ortam pH'sından etkilenmektedir. Asidik koşullarda, bazı antosiyaninler kırmızı görünür. Nötr pH'da mor bir renk tonuna sahipken, artan pH durumunda renk maviye dönüşür (Khoo ve ark., 2017). Ortamda kükürtdioksit varlığı rengin açılmasına neden olmaktadır. Yine askorbik asit varlığında renk kaybı görülmektedir. Antosiyaninler ile askorbik asit arasında yoğunlaşma reaksiyonu gözlenir. Askorbik asit serbest radikaller üretir ve moleküler oksijen aktivatörü olarak görev yapar. Bu durum antosiyaninlerin oksidatif bölünmesi ve renk kaybı ile sonuçlanmaktadır (Cavalcanti ve ark. 2011).

3. Antosiyanin Sentez Reaksiyonu

Antosiyaninler, fenilpropanoid ve flavonoid yolları yoluyla sentezlenir, öncü olarak fenilalanin ile başlar ve di- ve tri-hidroksile flavonoidleri üretmek için iki dala ayrılır (Şekil 2) (Tanaka ve ark., 2008; He ve ark., 2010). Antosiyaninler, kalkon sentaz (CHS), flavanon 3-hidroksilaz (F3H), flavanon 3'-hidroksilaz (F3'H), dihidroflavonol 4-redüktaz (DFR), antosiyanidin sentaz (ANS) ve UDP-glukoz: flavonoid 3-O-glukosiltransferaz (UFGT)) dahil olmak üzere bir dizi enzimin dahil olduğu flavonoid yol boyunca biyosentezlenir (Holton ve Cornish, 1995; Boss ve ark., 1996; Takos ve ark., 2006). Bu biyosentetik genler, bir MYB-bHLH-WD40/WDR (MBW) düzenleyici kompleks tarafından koordineli olarak modüle edilir (Nesi ve ark., 2001; Gonzalez ve ark., 2008; Schaart ve ark., 2013; Albert ve ark., 2014). Elmada MYB genleri MdMYB1 ve MdMYB10, bHLH genleri MdbHLH3 ve MdbHLH33' ve WD40 geni MdTTG1 karakterize edilmiş ve antosiyanin birikimine ve meyve renklenmesine katıldıkları gösterilmiştir (Espley ve ark., 2007; An ve ark., 2012; Xie ve ark., 2012; Xu ve ark., 2017). Son zamanlarda, bir HD-Zip I transkripsiyon faktörünü (TF) kodlayan yeni bir gen olan MdHB1'in, kırmızı etli elma "Ballerina"da antosiyanin birikimini negatif olarak düzenlediği de rapor edilmiştir (Jiang ve ark.,

2017). Yeni TF'lerin tanımlanmasıyla, elma meyvesinde antosiyanin biyosentezinin düzenleyici modeli daha da geliştirilecektir.

Antosiyanin biyosentezinde, ışık etkisi, dahil olan farklı enzimlerin aktivasyonunda ifade edilir, özellikle yoldaki anahtar enzim olan fenilalanin amonyak-lyaz (PAL) (Toguri ve ark.,1993; Galbiati, 1994) ve kalkon sentaz (CHS) (Nakatsuka ve ark., 2009) ışığın neden olduğu antosiyaninin birikim, transkripsiyon faktörlerinin aktivasyonu yoluyla düzenlenir. *Vitis*'te meyve kabuğunda bu bileşiklerin birikimi ve oranı, genetik, gelişimsel ve çevresel faktörlere (Rio Senegade ve ark., 2008; He ve ark., 2010; Dai ve ark., 2011) ve ayrıca bağcılık uygulamalarına bağlıdır (Downey ve ark., 2006). Işık, sıcaklık, sulama ve azot kaynağının *Vitis* meyvesi antosiyanin içeriğini etkilediği gösterilmiştir (Dai ve ark., 2011; Berdeja ve ark., 2015; Keller, 2015; Habran ve ark., 2016).



Şekil 2. Üzümde bulunan ana ürünleri hesaba katmak için değiştirilmiş antosiyanin biyosentetik yolunun basitleştirilmiş şeması. Bu çalışmada incelenen genler kutulanmıştır. Dehidrataz varsayılandır ve bu nedenle parantez içinde yazılmıştır ve flavonoid 3'-hidroksilaz (F3'H) ve flavonoid 3'5'-hidroksilaz (F3'5'H) için substratlar üzüm için belirlenmemiştir. C4H, Sinamat 4-hidroksilaz; 4CL, 4-kumarat COA ligaz; MT, metiltransferaz (Boss ve ark.,1996).

4. Antosiyanin Üreten Hücrelerin Sitolojik ve Histolojik Özellikleri

Pigmentasyonda hücrelerin şekli ve histolojik yapısı, ışığın hem kırınımına uğraması hem de yansımaları üzerinde etkileri olduğu için önemlidir. *Antirrhinum majus* (aslanagzı) türünde pigment içeren epidermal hücrelerin şekillerinin, domates bitkisinde epidermal hücre şekli ve kütikula oluşumu Mixta adı verilen bir gen belirlemektedir (Noda ve ark., 1994; Lashbrooke ve ark., 2015). *Antirrhinum majus* yabancı tipin çiçeklerinde epidermal hücreler konik biçimindedir. Çiçek renkleri de koyu kırmızıdır. Genin resesif olduğu hatlarda hücreler düzleştiğinden epidermal hücrelerin yüzeyinden ışık yansımaları artar ve ışığın kırınımı değişir (Gorton ve Vogelmann, 1996). Kırınımında meydana gelen değişim,

pigmentli hücrelerin vakuelleri yerine, pigmentless hücrelerin vakuellerine ışığı odakladığı için çiçek renklerinin daha solgun görünümü olmasına yol açar.

Petallerinde antosiyanin üreten birçok tür diğer pigmentlerle kombinasyonlar oluşturabilmektedir. Antosiyanin içeren hücrelerin altında bulunan karotenoidlerin, antosiyaninlerle renk oluşturması sık görülen bir durumdur. Bu durum siyaha yakın petal renklerinin oluşma nedeni olabilir (Noda, 1994).

Antosiyaninlerin bir kısmı, AVI'ler (antosiyanik vakuolar inklüzyonlar) adı verilen yoğun renkli intravasküler gövdelerde, özellikle çiçeklerde meydana geldiği bildirilmiştir (Markham ve ark., 2000; Zhang ve ark., 2006). AVI'lere sahip çiçekler, artan antosiyanin birikimi konsantrasyonuna sahiptir ve daha koyu bir çiçek rengi sergiler (Markham ve ark., 2000; Deguchi ve ark., 2020). Kırmızı lahana yapraklarında (Small ve Peckett, 1982; Nozzolillo ve ark., 1995), asmanın hücre kültüründe (Cormier ve ark., 1997; Conn ve ark., 2010) ve yumru köklerde, tatlı patatesin süspansiyon kültüründe benzer yapılar bulunmuştur (Nozue ve ark. 1997). Işık ve elektron mikroskopisi ile elma kabuğundaki antosiyanin bakımından zengin hücrelerin anatomik gözlemleri, tamamen gelişmiş kırmızı renge sahip kabuğun yeşil kabuğa göre daha fazla antosiyanin içeren hücre katmanına sahip olduğunu göstermiştir (Bae ve ark., 2006). Antosiyaninler sıklıkla kırmızı kabuğun hücrelerinde yuvarlak şekilli kümeler veya aglomerasyonlar halinde bulunmuştur, ancak vakuollerdeki antosiyanin granülü üzerinde belirgin bir zarf membranı yoktur. Genel olarak, antosiyanin içeren küresel kapanımların protein matrisleri olabileceği ve bunların ne bir zar sınırına ne de bir içyapıya sahip oldukları belirtilmiştir. Ancak bir çalışmada, *Vitis* hücre süspansiyon kültürlerinde AVI'lerde benzersiz bir protein bileşeni saptanmamıştır (Conn ve ark., 2010). *Vitis vinifera* hücre süspansiyon kültürlerinde AVI'ler, antosiyaninlerle etkileşimlerinden dolayı, vakuollerde çeşitli boyutlarda koyu kırmızı ila mor küreler olarak görünmüştür (Conn ve ark., 2003). Toplam antosiyanin profili ile karşılaştırıldığında, AVI'ye bağlı antosiyaninlerin profili, her iki hatta asillenmiş (p-kumarilatlı) antosiyaninlerde yaklaşık %28-29'luk bir artış göstermiştir. *Sorghum bicolor*'da (Gine mısırı) 3-deoksiantosiyanidinler, mantar saldırısı altında yaprak hücrelerinde inklüzyonlar olarak birikir ve bölgeye özgü bir yanıtta enfeksiyonu inhibe ederek fitoaleksinler olarak işlev görür (Snyder ve Nicholson, 1990.). Diğer flavonoidler gibi antosiyaninlerin de endoplazmik retikulum membranının sitoplazmik yüzeyinde sentezlendiği genel olarak kabul edilse de hücrelerde taşınma ve antosiyanin birikim mekanizmaları daha belirsiz ve aydınlatılamamıştır (Pourcel ve ark., 2010). Bu mekanizma hakkında görüş bildiren *ligadin modeli* ve *vezikül taşıma modeline* burada yer verilmiştir:

4.1. Ligandin modeli

Ligandin modeline göre, sitoplazmik antosiyaninler *Arabidopsis*'te Transparent Testa19 (TT19), mısırdaki (*Zea mays*) BRONZE2 ve petunyada (*Petunia hybrida*) AN9 spesifik glutatyon S-transferazlara (GST'ler) bağlanır (Marrs ve ark., 1995; Alfenito ve ark., 1998; Kitamura ve ark., 2004; Conn ve ark., 2008; Sun ve ark., 2012). Bu GST'ler, antosiyaninleri vakuolar membrana veya

tonoplasta kadar eşlik eder (Goodman ve ark., 2004; Marinova ve ark., 2007; Gomez ve ark., 2009; Francisco ve ark., 2013).

4.2. Veziküler taşıma modeli

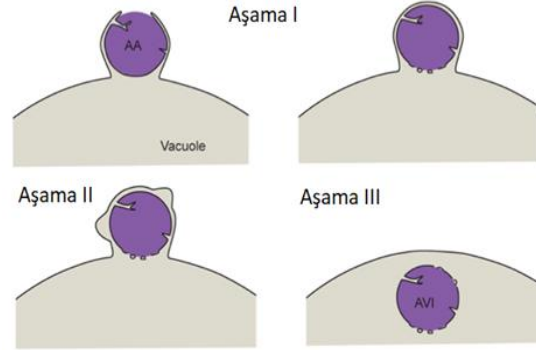
Vezikül taşıma modeline göre, antosiyaninlerin ER lümenine girdiğini ve veziküller ve/veya zara bağlı organeller içinde vakuole taşındığını varsayar. Bu hipotez, *Brassica napus* (kanola) tapetum hücrelerinde flavonoid dolgulı ER kaynaklı veziküllerin (Hsieh ve Huang, 2007), *Vitis*'te sitoplazmik antosiyanin dolgulı veziküllerin (Conn ve ark., 2010; Gomez ve ark., 2011) ve *Arabidopsis* epidermal hücrelerinde ER gövdelerinde antosiyaninlerin birikmesi (Poustka ve ark., 2007) gözlemlenmesine dayanmaktadır. Sentezlendikten sonra, antosiyaninler büyük bir merkezi vakuolde birikir; bu lokalizasyon oksidasyonu önlemek (Marrs ve ark., 1995) ve antosiyaninlerin pigment olarak işlev görmesi için gereklidir.

In vivo antosiyanin renklenmesi, pH'ı etkileyen faktörlerden (Yoshida ve ark., 1995; Khoo ve ark., 2017), kopigmentlerin varlığından (Forkmann, 1991) ve AVİ oluşumundan (Markham ve ark., 2000) önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle, antosiyaninlerin (veya antosiyanin öncüllerinin) ER'nin sitoplazmik yüzeyinden vakuole taşınması gerekir. Bu model aynı zamanda antosiyanin içeren ER alanlarının otofagozomlar tarafından yutulabileceği ve vakuole iletilebileceği senaryosunu da tasarlar (Pourcel ve ark., 2010). AVİ oluşumunun nasıl gerçekleştiğine gelince: bitkilerde otofaji (makro veya mikrootofaji), sitoplazmik materyalin vakuole taşınmasıdır ve incelenen çoğu durumda otofaji ile ilgili (ATG) makineleri içerir (Müller ve ark., 2000; Uttenweiler ve ark., 2007; Krick ve ark., 2008; Li ve Vierstra, 2012). Makrootofajide, çift membranlı otofagozomlar sitoplazmada toplanır ve vakuolar membran ile füzyon üzerine içeriklerini bir otofajik gövdede vakuolar lümenine iletir. Hayvan ve maya hücrelerinde mikrootofaji sırasında, lizozomal veya vakuolar membran, sitoplazmik içeriği doğrudan yutmak için lokal olarak deforme olur; bununla birlikte, bitkilerde mikrootofajinin nasıl ilerlediği hakkında bilinmeyenler fazladır (Şekil 3).

Eğer antosiyaninler makrootofaji ile taşınırsa, otofagozomun tonoplast ile füzyonu üzerine, antosiyaninler iki zarla çevrili olacaktır; iç zar ER'den türetilmiş ve dış zar otofagozomdan türetilmiş olmalıdır. Diğer otofaji vakalarında olduğu gibi, bu zarlar daha sonra bozularak antosiyaninleri vakuolar lümenine bırakır. Vakuolar lümenin içinde, antosiyaninler ya düzgün dağılmış, çözünür bir formda ya antosiyanoplastlar (Pecket ve Small, 1980) ya da antosiyanin vakuolar inklüzyonları (AVI'ler) (Markham ve ark., 2000) olarak adlandırılan intravakuolar cisimlerde bulunur. AVI'ler, çok sayıda ilişkisiz çiçekli bitki taksonlarında sık görülür (Pecket ve Small, 1980).

AVI'ler oldukça renkli ve yoğun olduğundan, çiçeklerin yoğunluk ve ton gibi renk özelliklerini değiştirirler (Markham ve ark., 2000). Antosiyaninler, iddia edilen antioksidan özelliklere sahip önemli nutrasötikler olduğundan (Butelli ve ark., 2008; Horbowicz ve ark., 2008), AVI'ler, gıda katkı maddeleri olarak kullanılmak üzere yoğun şekilde paketlenmiş stabilize antosiyaninler olarak potansiyel ticari değere sahiptir. AVI'ler 1900'lerin başından beri bitki dokularında gözlemlenmiş olsa

da (Pecket ve Small, 1980'de gözden geçirilmiştir) bunların doğası, işlevi ve yapısı belirsizliğini korumaktadır. AVI'lerin *Vitis* ve *Brassica oleracea* (kırmızı lahana) tek bir zarla çevrelenmiş olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3. Mrootofaji ile AVI Formasyonu Modeli. Sitoplazmik antosiyantin kümeleri, tonoplastın sitoplazmik yüzü ile birleşir ve çift membranlı tonoplast çıkıntıları ile çevrelenir. Tonoplast zarı sadece antosiyantin kümelerinin yüzeyine sıkıca bağlanmakla kalmaz, aynı zamanda iç boşluklarını da kaplar. Tonoplast çıkıntılarının distal alanları sonunda birleşir. Aşama II: Agregayı çevreleyen iki zar ayrılmaya başlar ve oluşturan AVI'nin etrafında vakuolar lümenle dolu şişkinlikler oluşur. Aşama III: İki zar tamamen ayrılır ve yeni oluşan AVI, tonoplasttan türetilen bir zar ile sıkıca çevrelenen vakuolar lümenine salınır (AA, antosiyantin agregasyonu) (Chanoca ve ark., 2015).

Ipomea batatas (tatlı patates), *Dianthus caryophyllus* (karanfil) ve *Eustoma grandiflorum*'da (lisianthus'ta), AVI'lerin çevreleyen zarlardan yoksun olduğu ve bunun yerine bir protein matrisi veya iplik benzeri yapılardan oluştuğu görülmektedir (Small ve Pecket, 1982; Nozue ve ark., 1993; Markham ve ark., 2000; Zhang ve ark.; 2006; Conn ve ark., 2010). Antosiyantinlerin yanı sıra, AVI'lerin *Ipomea batatas*'ta VP24 adı verilen bir metaloproteaz (Nozue ve ark., 1997; Xu ve ark., 2001) ve *Vitis* kültürü hücrelerinde tonoplast membran lipidleri (Conn ve ark., 2010) içerdiği bildirilmiştir. *Vitis* hücre kültürlerinde, AVI'ler açılmiş antosiyantinlerde zenginleştirilmiştir (Conn ve ark., 2003) bu da AVI'lerin spesifik antosiyantin türlerini sekestre edebileceğini düşündürür. AVI'lerin biyogenezi ve çözünür antosiyantinlerle aynı sentez yolunu paylaşıp paylaşmadıkları da tartışmalıdır. *Vitis* ve *Lisianthus*, sitoplazmik veziküller veya prevakuolar kompartmanların ana vakuole girdiği ve AVI'ler oluşturmak için intravakuolar füzyona uğradığı bildirilmiştir (Conn ve ark., 2010). *Arabidopsis*'te antosiyantinler, stresli koşullara yanıt olarak vejetatif dokularda yaygın olarak sentezlenir (Chalker-Scott, 1999; Winkel-Shirley, 2002; Gould ve Lister 2006; Kovich ve ark., 2014). Antosiyantin indüktif koşullar (AIC'ler; örneğin suda %3 sakaroz) altında büyütüldüğünde, *Arabidopsis* fideleri antosiyantinleri çoğunlukla vakuol içinde çözünür bir havuz olarak biriktirir ve kotiledon kaplama hücrelerinin <math><5\%</math>i AVI'ler içerir (Pourcel ve ark., 2010).

5. Antosiyantinlerin Bitkilerdeki Etkinlikleri

Antosiyantin bileşikleri, anjiyospermiler arasındaki çoğu meyve, sebze ve çiçekte somon, pembe ve kırmızıya ve menekşeden koyu maviye kadar değişen çoğu rengin ana nedenidir (Andersen ve Jordheim, 2010). *Rubus* meyvelerinde (kırmızı ve siyah ahududu, böğürtlen), *Vaccinium* türlerinde

(kızılcık, yaban mersini), çilek, kiraz ve üzümde (Muscadines, Concord çeşidi) bol miktarda bulunur (Wu ve ark., 2006; de Pascual-Teresa ve Sanchez-Ballesta, 2008). Diğer besin kaynakları arasında kırmızı şarap ve kırmızı lahana, mor renkli pancar, patates ve turp gibi bazı yapraklı ve kök sebzeler bulunur (Zand ve ark., 2002). Antosiyaninler farklı bitki bileşenlerinde bulunur ve içerikleri aynı türden meyveler arasında farklılık gösterir (de Pascual-Teresa ve Sanchez-Ballesta, 2008). Büyüme ortamları, genetik faktörler, hazırlama ve ekstraksiyon yöntemlerindeki farklılıklar, antosiyanin değişkenliğine neden olur (de Pascual-Teresa ve Sanchez-Ballesta, 2008). Bu da içeriklerini ve insan alımını doğru bir şekilde belirlemeyi zorlaştırabilir. Antosiyaninler dahil flavonoidler, bitkilerde oksinlerin taşınması ve bitki verimliliğini etkileme, biyotik ve abiyotik stresleri iyileştirme, mikroorganizmalar için sinyal olma, patojenlere karşı koruma, böcek ve diğer hayvan polinatörler için çiçekleri ilgi çekici hale getirme, angiosperm çiçeklerinde renk çeşitliliğinin oluşturma gibi görevler üstlenmiştir (Schwinn ve Davies, 2004; Taylor ve Grotewold, 2005; Braidot ve ark., 2008; Gomez ve ark., 2011) Ayrıca birçok meyve, sebze, yüksek düzeyde içsel antioksidan aktivitesi ile bilinen şifalı otlar ve baharatta bulunan geniş bir polifenolik bileşik sınıfıdır (Wang ve Stoner, 2008). Bitkileri UV radyasyonu ile oluşabilecek hasarlardan korur (Braidot ve ark., 2008; Gomez ve ark., 2011). Polar oksin taşınmasını negatif yönde etkiledikleri ayrıca *Arabidopsis* polenlerinde yapılan çalışmalarda polen çimlenmesini artırıcı etkiye sahip oldukları kanıtlanmıştır (Taylor ve Grotewold, 2005).

6. Antosiyaninlerin İnsan Sağlığına Etkinlikleri

Antosiyaninler, doğal antioksidanlar olarak görev yapar. Serbest radikallere ve zararlı maddelere karşı korur. Reaktif oksijen türleri (ROS) tarafından indüklenen protein, lipid veya DNA oksidasyonunu önleme veya geciktirme potansiyeline sahip serbest radikal süpürücüler olarak kabul edilir (Wang ve ark., 1997; Nakabayashi ve ark., 2014; Xu ve ark., 2017). Yapı-antioksidan aktivite modelleri, bu tür güçlü antioksidan aktivitenin hidroksil grupları ile yakından ilişkili olduğunu gösterir (Rice-Evans ve ark., 1996). Antosiyaninler vasküler elastikiyet sağlar, kardiyovasküler hastalıkları önler, karaciğer hasarından korur (Winkel-Shirley, 2001; Regan ve ark., 2001; Schaefer ve ark., 2008; Butelli ve ark., 2008). Biyotik ve abiyotik stresleri iyileştirmede rol oynar. Son zamanlarda flavonoid açısından zengin diyetlerin faydalı etkilerinin çeşitli diyetleri etkilediği, inflamatuvar ve apoptotik sinyal yollarının modülasyonu dahil olmak üzere fonksiyonlar bulunmuştur.

Artan kanıtlar, antosiyaninlerin antitümör ve antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğunu ve diyabeti önleyebileceğini ve görme yeteneğini iyileştirebileceğini göstermiştir (Middleton ve ark., 2000; Alipour ve ark., 2016; Nguyen ve ark., 2017). Antosiyaninin genç kadınlarda miyokard enfarktüsü riskini azaltmadaki rolü de doğrulanmıştır (Cassidy ve ark., 2013). Antosiyaninler özellikle bu konuda önemli bir ilgi görmüş ve bunların özelliklerini anlatan çok sayıda rapor yayınlanmıştır (Wang ve Stoner, 2008; Wallace, 2011). Bağırsaktaki antosiyanin metabolitlerinin prebiyotik etkisi olduğu (Teixeira ve ark., 2017) ve bu bileşenin kolon bakterilerinin gelişmesinde olumlu etkisi neden olduğu

saptanmıştır (Jamar ve ark., 2017). *In vitro* çalışmalar, antosiyanin ekstraktının obeziteye karşı etkili olduğunu desteklemektedir.

Antosiyaninlerin obeziteye etki biçiminin:

- Lipid metabolizmasını düzenler ve emilimini azaltma
- Enerji tüketimini artırır
- Bağırsak mikrobiyotasını düzenleme
- Vücuda besin alınımını azaltma yönünde etkileme şeklinde olduğu görülmüştür (Xie ve ark., 2017).

Ancak yine de hayvan veya insan müdahale çalışmalarından elde edilen *in vivo* kanıtlar yeterli değildir. Destekleyici kanıtların çoğu *in vitro* veya mekaniktir. Antosiyaninlerin terapötik özellikleri, hücrelere maruz kalma veya diyet yoluyla tüm organizmaya maruz kalma yoluyla yeterli hücresele veya organizma biyoyararlanımına bağlıdır (Wallace, 2009). Genel olarak, antosiyaninlerin absorpsiyon derecesi düşüktür ve büyük ölçüde yapıya bağlıdır (Novotny ve ark., 2012). Şeker kısımlarını ortadan kaldırmak için bağırsakta tamamen hidrolize olan ve böylece absorpsiyondan önce aglikonlar üreten birçok glikozitin aksine, çalışmalar bozulmamış antosiyaninlerin kana emildiğini göstermiştir (Prior ve Wu, 2006). Bununla birlikte, bazı araştırmalar, antosiyaninlerin bir kısmının bağırsakta antosiyanidinlere bağırsak florası veya bağırsak enzimleri tarafından hidrolize edildiğini, bu tür mikrobiyal türevli antosiyanin metabolitlerin, bozulmamış ana moleküllerinden daha kararlı ve biyolojik olarak aktif olabilir (Keppler ve Humpf, 2005). Plazmada düşük absorpsiyonlarına rağmen, antosiyaninler vücudun farklı dokularında bulunmuştur. Üzümsü meyvelerin antosiyaninleri ve metabolitlerinin kan-beyin bariyerini aştığı bulunmuştur (Milbury ve Kalt, 2010).

İnsan vücudunda pH, midede (1,5), bağırsak mikro yüzeyinde (5,3), duodenumda (5,5), idrarda (5,75), tükürükte (6,4), karaciğerde (7,0), dışkıda (7,15) kanda (7,40) önemli ölçüde değişir (Newton, 1978). Bu nedenle, çeşitli antosiyaninler, farklı fizyolojik koşullar altında, model sistemlerde antosiyaninler için tarif edilene benzer farklı antosiyanidin formlarında görülmesi beklenmektedir (Wallace ve Guisti, 2009). İnsan çalışmalarından ulaşılan sonuçlara göre; yaban mersini, siyah ve yeşil çay, üzüm çekirdeği, elma, tam tahıllar, soya, kahve ve şarap gibi fenolik bileşenler açısından zengin beslenmenin, bağırsak mikrobiyotasında probiyotik özellikteki *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* bakteri miktarını artırdığı, patojenik *Clostridium* ve *Staphylococcus aureus* miktarını azalttığı belirtilmiştir (Uyeno ve ark., 2014; Tanaka ve ark., 2016). Midede emilimi gerçekleşmeyen fenolik bileşiklerin kolona ulaştığında ince bağırsakta hidrolize olduğu, bunun nedeninin bağırsak mikrobiyotası olduğu tahmin edilmektedir (Selma ve ark., 2009).

Diyet polifenollerinin büyük bir grubu olarak, antosiyaninler potansiyel antioksidan aktiviteleri konusunda büyük ilgi görmüştür. Çeşitli *in vitro* deneylerle yüksek antioksidan potansiyeli göstermesine rağmen, antosiyaninlerin son derece düşük absorpsiyon ve hızlı atılım oranlarından dolayı doğrudan ROS/RNS ile reaksiyona girerek *in vivo* antioksidanlar olarak hareket etmesi olası değildir. Bunun istisnaları, gastrointestinal sistemdeki doğrudan antioksidan etkiler olabilir. İnsan müdahale çalışmalarında, biyolojik sıvılardaki toplam antioksidan kapasiteyi değerlendirmek için

toplam antioksidan kapasite tahlilleri yaygın olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, tahlillerin sonuçları basitçe absorbe edilen antosiyaninlerden olmayabilir ve oksidatif stresin biyobelirteçlerindeki azalmalar, hayvan çalışmalarında bulunan antosiyaninlerin doğrudan antioksidan etkisine basitçe atfedilemez. Antosiyaninlerin metabolitlerinin, özellikle de bağırsak mikroflorası tarafından üretilen katabolitlerin, emilmesi ve *in vivo* antioksidan aktivite göstermesi mümkündür. Ortaya çıkan kanıtlar, antosiyaninlerin *in vivo* oksidatif strese yanıt vermede çoklu genlerin ekspresyonunu ve belirli anahtar sinyal yollarını düzenleyebildiğini, böylece antioksidan işlevini dolaylı yollarla yerine getirebildiğini göstermiştir. Bu dolaylı antioksidan aktivitelerin, antosiyaninlerin hastalık önleme etkilerinin altında yatan ana mekanizmalar olması muhtemeldir (Wallace, 2009).

Antosiyaninlerin hastalık önleme etkileriyle birlikte antioksidan veya diğer biyoaktivitelerle ilgili yayınlanmış çalışmaların çoğunun, antosiyaninler açısından zengin meyvelere dayandığı gerçeğinin unutulmamalıdır. Gözlemlenen biyoaktiviteler, sağlık etkileri sadece antosiyaninlerden kaynaklı olmayabileceğinden, veriler dikkatle yorumlanmalı ve diğer biyoaktif bileşiklerle sinerjistik etkiler de mevcut olabileceği göz ardı edilmemelidir (Wallace, 2009).

7. Antosiyaninlerin Gıda Sektöründe Kullanımı

Antosiyaninler, renk çeşitliliği, antioksidan etkileri, raf ömrünü uzatma yetenekleri ile gıda sektöründe kullanılabilen doğal pigmentlerdir (Mojica ve ark., 2017; Jimenez-Gonzalez ve ark., 2018). Sakızlar, sert şekerlemeler, toz içecekler, krem dolgular, pasta kremaları, içecekler, reçel, jölelerin renklendirilmesinde, son dönemde ise mor renkte: ekmek, simit, bazlama, kurabiyeler, baklavalar, cheesecake'ler, muffinler, galetaların yapımında kullanılmaktadır (Hendry ve ark., 1996). Gıdalara bu tür boya renklerinin eklenmelerinin çok sayıda nedeni vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Kırca, 2004; Bechtold ve Mussak, 2009).

1. Isıl işlem ya da daha depolama süreçlerinde, besinlerin doğal renginin azalması ya da kaybolması nedeniyle bozulan doğal görünümünü korumak,
2. Mevsimsel etkilerden kaynaklanan renk farklılıklarının engellenip bunlardan elde edilen ürünlerin renklerindeki eşitliliği sağlamak,
3. Soslar, içecekler veya meyveli yoğurttaki olduğu gibi, özellikle ürünün renginin beklenenden daha zayıf olduğu durumlarda rengin yoğunlaştırmak (çilekli yoğurdun rengini temsilen 100g yoğurda 0,5 mg antosiyaninin renklendirici olarak eklenebilmektedir) (Hendry ve Houghton, 1996).
4. Ürünün depolanması sırasında tadının ve ışığa duyarlı vitaminlerinin korunmasına yardımcı olmak,
5. Gıdalara daha çekici bir görünüş kazandırmak,
6. Gıdanın tanınabilirliğini sağlamak veya karakterini muhafaza etmek,
7. Renk, gıda kalitesinin önemli bir işareti olduğundan gıdanın kabul edilebilirliğini arttırmaya yardımcı olmak amacıyla dışarıdan boya ilavesi yapılmaktadır (Yetim, 2011).

Codex Alimentarius Komisyonu tarafından kullanılan numaralandırma sistemine göre antosiyaninler, doğal renklendirici olarak listelenmiş ve AB (Avrupa Birliği) mevzuatına uygun olarak ve E163 şeklinde kodlanmıştır (Mateus, 2008). Antosiyaninlerin gıdalarda en fazla 200 ppm düzeyinde kullanılmasına izin verilmektedir (Bechtold ve Mussak, 2009). Antosiyaninler gıdalara renk çekiciliği katmalarının yanında serbest radikallere karşı aktiviteleri sebebiyle eklendiği gıdaların oksidatif stabilitelelerini de yükseltmektedir (Espin ve ark., 2000). Biyoyararlanımı belirleme yöntemleri antosiyaninler arasında *in vivo* veya bir *in vitro* gerçekleştirilen simüle edilmiş deneyler yer almaktadır. *In vivo* yöntemler, biyoyararlanımı hakkında doğrudan veri sağlar ve çok çeşitli besinler için kullanılmıştır. Öte yandan *in vitro* yöntemler daha hızlı, daha ucuz, daha az iş gücü olma avantajına sahiptir. Yoğundur ve etik kısıtlamaları yoktur. *In vitro* yöntemler, gastrointestinal sindirimi simüle eder. Ticari sindirim enzimleri kullanılarak kontrollü koşullar, son emilim süreci ise yaygın olarak Caco-2 hücre kültürleri kullanılarak değerlendirilir (Parada ve Aguilera, 2007). Antosiyaninler ayrıca gıda ürünlerindeki lipidlerin ve proteinlerin oksidasyonunu önleyerek işlenmiş gıdaların besin değerini iyileştirebilirler (Kähkönen ve ark., 2001; 2003; Viljanen ve ark., 2004).

İstanbul Üniversitesi'nin çalışmaları sonucu, doğal antosiyanin içeren, ancak yine beyaz unla karıştırılarak elde edilen Mormix kullanılarak mor ekmek üretilmiş ve diyabetin yaygın olduğu Malatya ilinde kullanıma sunulmuştur. Japonya'da ise koyu renkli Riceberry unu kullanılarak ekmek üretilmiş ve yasal olarak zorunlu hale getirilmiştir. Riceberry, Jao Hom Nin ve Khao Dawk Mali 105 melezi bir pirinç türüdür, 2002 yılında Kasetsart Üniversitesi, Tayland'daki Pirinç Bilim Merkezi tarafından üretilmiştir. Pigmentli pirinç ununun (Riceberry pirinç unu, RB) fizikokimyasal olarak,

- Daha düşük şişme gücüne
- Daha yüksek jelatinleşme sıcaklığına sahip olduğu,
- Daha yüksek seviyelerde faydalı dirençli nişasta (RS) içerdiği,
- Orta pGI ile daha düşük seviyelerde yavaş sindirilebilir nişasta (SDS) içerdiği tespit edilmiştir.

RB'nin kontrol gruplarına göre daha yavaş glikoz salınımı sağlamıştır. Bu bulgular, antosiyanin açısından zengin RB'nin glutensiz ekmek için alternatif bir gıda bileşeni olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir (Tiranusornkij ve ark., 2019).

Antosiyanin biyosentezi, düzenleyici ve yapısal genlerin ekspresyonundaki değişiklikler yoluyla sıcaklık dalgalanması, UV-B, ışık ve ABA gibi çevresel ve dahili faktörlerden etkilenebilir (Xie ve ark., 2014). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, iklimsel olmayan meyvelerin, olgunlaşmanın düzenlenmesinde ABA ile ilgili antosiyanin biyosentezinde yer aldığı bildirilmiştir (Koyama ve ark., 2010; Jia ve ark., 2011). Jasmonatların (JA) asma ve elmalarda renk oluşumuna etkisi araştırılmıştır, muhtemelen etilen biyosentezi ile etkileşim yoluyla olabilir (Rudell ve ark., 2005). Ancak her durumda ticarileşmenin önündeki en büyük engellerden biri "kahverengilenme etkisi" dir. Bu, iki aşamalı bir işlem sonucunda bitki antosiyanin ekstraktlarında kahverengi bir renk oluşumunu ifade eder. Antosiyaninler, bitki özünde bulunan bitki polifenol oksidazları tarafından oksitlenirler (Oszmianski ve Lee, 1990; Mclellan ve ark., 1995; Tsai ve ark., 2004). Antosiyaninler veya

antosiyenin bakımından zengin özler, gıda renklendiricileri olarak sıklıkla uygulanır. Bu doğal pigmentlerin en büyük dezavantajlarından biri, zayıf stabilite ve renklendirme özelliklerinin hızlı kaybıdır. Antosiyenin ekstraktlarının spreyle kurutulması, onları kapsüllemek ve stabilize etmek için uygun bir yaklaşım olabilir (Weber ve ark., 2017).

Antosiyenler gıda sektörü dışında endüstride saç boyası, kozmetik ürün, kumaş boyası, güneş pillerinde hassaslaştırıcı, tıpta tedavi edici, hastalık önleyici ve gıda takviyesi olarak da kullanılmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Acar J. Fenolik bileşikler ve doğal renk maddeleri: Gıda Kimyası. Hacettepe Üniversitesi Basımevi; Ankara Yayın 1998; 435-452.
- Albert NW., Davies KM., Lewis DH., Zhang H., Montefiori M., Brendolise C., Boase MR., Ngo H., Jameson PE., Schwinn KE. A conserved network of transcriptional activators and repressors regulates anthocyanin pigmentation in eudicots. *Plant Cell* 2014; 26(3): 962–980.
- Alipour B., Rashidkhani B., Edalati S. Dietary flavonoid intake, total antioxidant capacity and lipid oxidative damage: a cross-sectional study of Iranian women. *Nutrition* 2016; 32(5): 566–572.
- Alfenito MR., Souer E., Goodman CD., Buell R., Mol J., Koes R., Walbot V. Functional complementation of anthocyanin sequestration in the vacuole by widely divergent glutathione S-transferases. *Plant Cell* 1998; 10(7): 1135–1149.
- An XH., Tian Y., Chen KQ., Wang XF., Hao YJ. The apple WD40 protein MdTTG1 interacts with bHLH but not MYB proteins to regulate anthocyanin accumulation. *Journal of Plant Physiol* 2012; 169(7): 710–717.
- Andersen ØM., Jordheim M. The anthocyanins flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications. CRC Press Boca Raton 2007; 471–553.
- Andersen ØM., Jordheim M., Byamukama R., Mbabazi A., Ogweng G., Skaar I., Kiremire B. Anthocyanins with unusual furanose sugar (apiose) from leaves of *Synadenium grantii* (Euphorbiaceae). *Phytochemistry* 2010; 71(13): 1558–63.
- Anonim. Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri. Ankara: MEB; 2013; 43.
- Bae RN., Kim KW., Kim TC., Lee SK. Anatomical observations of anthocyanin rich cells in apple skins. *HortScience* 2006; 41(3): 733–736.

- Barros J., Serrani-Yarce JC., Chen F., Baxter D., Venables BJ., Dixon RA. Role of bifunctional ammonia-lyase in grass cell wall biosynthesis. *Nature Plants* 2016; 2(6): 16050.
- Bechtold T., Mussak R. *Handbook of natural colorants*. John Wiley & Sons; 2009; 8: 412.
- Berdeja M., Nicolas P., Kappel C., Dai Z., Hilbert G., Peccoux A., Lafontaine M., Ollat N., Gomès E., Delrot S. Water limitation and rootstock genotype interact to alter grape berry metabolism through transcriptome reprogramming. *Horticulture Research* 2015; 2: 15012.
- Boss PK., Davies C., Robinson SP. Analysis of the expression of anthocyanin pathway genes in developing *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries and the implications for pathway regulation. *Plant Physiology* 1996; 111(4): 1059–1066.
- Braidot E., Zancani M., Petrusa E., Peresson C., Bertolini A., Patui S., Macrì F., Vianello A. Transport and accumulation of flavonoids in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Signaling & Behavior* 2008; 3(9): 626–632.
- Bueno MJ., Saez-Plaza P., Ramos-Escudero F., Jiménez AM., Fett R., Asuero AG. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments, Part II: chemical structure, color and intake of anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 2012; 42: 126-151.
- Buer C., Imin N., Djordjevic M. Flavonoids: new roles for old molecules. *Journal of Integrative Plant Biology* 2010; 52(1): 98–111.
- Butelli E., Titta L., Giorgio M., Mock HP., Matros A., Peterek S., Schijlen EGWM., Hall RD., Bovy AG., Luo J., Martin C. Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnology* 2018; 26: 1301–1308.
- Cassidy A., Mukamal KJ., Liu L., Franz M., Eliassen AH., Rimm EB. High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women. *Circulation* 2013; 127: 188–196.
- Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M., Páez-Hernández ME., Rodríguez JA., Galán-Vidal CA. Chemical studies of anthocyanins: A review, *Food Chemistry* 2009; 113(4): 859–871.
- Cavalcanti RN., Santos DT., Meireles MAA. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems - An overview. *Food Research International* 2011; 44(2): 499-509.
- Chalker-Scott L. Environmental significance of anthocyanin in plant stress responses. *Photochemistry and Photobiology* 1997; 70(1): 1-9.
- Chanoca A., Kovinich N., Burkel B., Stecha S., Bohorquez-Restrepo A., Ueda T., Eliceiri KW., Groverword E., Otegui MS. Anthocyanin vacuolar inclusions form by a microautophagy mechanism. *The Plant Cell* 2015; 27(9): 2545–2559.
- Chemler JA., Leonard E., Koffas MAG. Flavonoid Bio transformations in Microorganisms. In *Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications*. Gould K, Davies K, Winefield C, Springer 2009; 191 – 238.

- Chu WK., Cheung SCM., Lau RAW., Benzie IFF. Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.), In Herbal Medicine: Bio molecular and Clinical Aspects, 2nd edition, Benzie, I. F. F. and Wachtel-Galor, S, CRC Press 2011; 55-72.
- Conn S., Zhang W., Franco C. Anthocyanic vacuolar inclusions (AVIs) selectively bind acylated anthocyanins in *Vitis vinifera* L. (grapevine) suspension culture. Biotechnol Letters 2003; 25: 835–839.
- Conn S., Curtin C., Bézier A., Franco C., Zhang W. Purification, molecular cloning and characterization of glutathione S-transferases (GSTs) from pigmented *Vitis vinifera* L. cell suspension cultures as putative anthocyanin transport proteins. Journal Experimental Botany 2008; 59(13): 3621–3634.
- Conn S., Franco CM., Zhang W. Characterization of anthocyanic vacuolar inclusions in *Vitis vinifera* L. cell suspension cultures. Planta 2010; 231: 1343-1360.
- Cooray HC., Janvilisri T., Veen HW., Hladky SB., Barrand MA. Interaction of the breast cancer resistance protein with plant polyphenols. Biochemical and Biophysical Research Communications 2004; 317(1): 269–275.
- Cormier F., Couture R., Do CB., Pham TQ., Tong VH. Properties of anthocyanins from grape cell culture. Journal Food Science 1997; 62: 246.
- Cutler GJ., Ross JA., Harnack LJ., Jacobs DR., Scrafford CG., Barraj LM., Mink PJ., Robien PJ., Robien K. Dietary flavonoid intake and risk of cancer in postmenopausal women: The Iowa women's health study. International Journal of Cancer 2008; 123(3): 664–671.
- Dai Z., Ollat N., Gomès E., Decroocq S., Tandonnet JP., Bordenave L., Pieri P., Hilbert G., Kappel C., van Leeuwen C., Vivin P., Delrot S. Ecophysiological, genetic, and molecular causes of variation in grape berry weight and composition: a review. American Journal of Enology Viticulture 2011; 62: 413–425.
- Davies K. Plant Pigments and their Manipulation. Annual Plant Reviews. Blackwell Publishing, Oxford 2004; 14: 92–149.
- Deguchi A., Tatsuzawa F., Miyoshi K. A Blackish-flowered cultivar of *Catharanthus Roseus* accumulates high concentrations of a novel anthocyanin with a unique feature of aggregation in weak acid solutions. Dyes Pigments 2020; 173: 108001.
- Downey M., Dokoozlian N., Krstic M. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. American Journal of Enology Viticulture 2006; 57: 257–268.
- Espin JC., Soler-Rivas C., Wichers H., Garcia-Viguera C. Anthocyanin based natural colorants: A new source of foodstuff. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2000; 48(5): 1588-1592.
- Espley RV., Hellens RP., Putterill J., Stevenson DE., Kutty-Amma S., Allan AC. Red colouration in apple fruit is due to the activity of the MYB transcription factor. MdMYB10. The Plant Journal 2007; 49: 414–427.

- Forkmann G. Flavonoids as flower pigments: the formation of the natural spectrum and its extension by genetic engineering. *Plant Breed* 1991; 106: 1–26.
- Francisco RM., Regalado A., Ageorges A., Burla BJ., Bassin B., Eisenach C., Zarrouk O., Vialet S., Marlin T., Chaves MM., Martinoia E., Nagy R. ABCC1, an ATP binding cassette protein from grape berry, transports anthocyanidin 3-O-Glucosides. *The Plant Cell* 2013; 25(5): 1840–1854.
- Galbiati M., Chiusi A., Peterlongo P., Mancinelli A., Gavazzi G. Photoinduction of anthocyanin in maize: A genetic approach. *Maydica* 1994; 39(2): 89-95.
- Gibellini L., Pinti M., Nasi M., Montagna JP., Biasi SD., Roat E., Bertoncetti L., Cooper EL, Cossarizza A. Quercetin and cancer chemoprevention. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2011; 591356.
- Gomez C., Terrier N., Torregrosa L., Vialet S., Fournier-Level A., Verriès C., Souquet JM., Mazauric JP., Klein M., Cheynier V., Ageorges A. Grapevine MATE-type proteins act as vacuolar H⁺-dependent acylated anthocyanin transporters. *Plant Physiology* 2009; 150(1): 402–415.
- Gomez C., Conejero G., Torregrosa L., Cheynier V., Terrier N., Ageorges A. *In vivo* grapevine anthocyanin transport involves vesicle-mediated trafficking and the contribution of anthoMATE transporters and GST. *The Plant Journal* 2011; 67: 960–970.
- Gonzalez A., Zhao M., Leavitt JM., Lloyd AM. Regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway by the TTG1/bHLH/Myb transcriptional complex in *Arabidopsis* seedlings. *The Plant Journal* 2008; 53: 814–827.
- Goodman CD., Casati P., Walbot V. A multidrug resistance-associated protein involved in anthocyanin transport in *Zea mays*. *The Plant Cell* 2004; 16(7): 1812–1826.
- Gorton HL., Vogelmann TC. Effects of epidermal cell shape and pigmentation on optical properties of *Antirrhinum* petals at visible and ultraviolet wavelengths. *Plant Physiology* 1996; 112(3): 879-888.
- Gould KS., Lister C. Flavonoid functions in plants. *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications* 2006; 397–441.
- Habran A., Commisso M., Helwi P., Hilbert G., Negri S., Ollat N., Gomès E., van Leeuwen C., Guzzo F., Delrot S. Rootstock/scion/nitrogen interactions affect secondary metabolism in the grape berry. *Frontiers in Plant Science* 2016; 7: 1134.
- He F., Mu L, Liang GL., Liang NN., Pan QH., Wang J., Reeves MJ., Duan CQ. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 2010; 15(12): 9057-9091.
- Huang Y., Zhou W. Microencapsulation of anthocyanins through two-step emulsification and release characteristics during *in vitro* digestion. *Food Chemistry* 2019; 278: 357-363.
- Jamar G., Estadella D., Pisani LP. Contribution of anthocyanin-rich foods in obesity control through gut microbiota interactions. *Biofactors* 2017; 43(4): 507-516.
- Jia HF., Chai YM., Li CL., Lu D., Luo JJ. Abscisic acid plays an important role in the regulation of strawberry fruit ripening. *Plant Physiology* 2011; 157(1): 188-199.

- Jiang Y., Liu C., Yan D., Wen X., Liu Y., Wang H., Dai J., Zhang Y., Liu Y., Zhou B., Ren X. MdHB1 down-regulation activates anthocyanin biosynthesis in the white-fleshe, apple cultivar 'Granny Smith. *Journal of Experimental Botany* 2017; 68(5): 1055–1069.
- Jimenez-Gonzalez O., Ruiz-Espinosa H., Luna-Guevara J., Ochoa-Velasco C., Vital DL., Luna-Guevara ML. A potential natural coloring agent with antioxidant properties: Microencapsulates of *Renalmia alpinia* (Rottb) Maas fruit pericarp. *NFS Journal* 2018; 13: 1–9.
- Hendry GAF., Houghton JD. Natural food colorants. Springer Science & Business Media 1996; 348.
- Holton TA., Cornish EC. Genetics and biochemistry anthocyanin biosynthesis. *The Plant Cell* 1995; 7(7): 1071–1083.
- Horbowicz M., Kosan R., Grzesiuk A., Debski H. Anthocyanins of fruits and vegetables-their occurrence analysis and role in human nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin* 2008; 68: 5-22.
- Hsieh K., Huang AHC. Tapetosomes in *Brassica* tapetum accumulate endoplasmic reticulum-derived flavonoids and alkanes for delivery to the pollen surface. *The Plant Cell* 2007; 19(2): 582–596.
- Kähkönen MP., Hopia AI., Heinone M. Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2001; 49(8): 4076-4082.
- Kähkönen MP., Heinonen M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2003; 51(3): 628-633.
- Keller M. The science of grapevines: anatomy and Physiology. London Academic Press 2015.
- Khoo HE., Azlan A., Tang ST., Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: coloured pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research* 2017; 61(1): 1361779.
- Kırca A. Siyah havuç antosiyaninlerinin bazı meyve ürünlerinde ısıl stabilitesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi (yayınlanmamış), Ankara, Türkiye, 2004.
- Keppler K., Humpf HU. Metabolism of anthocyanins and their phenolic degradation products by the intestinal microflora. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 2005; 13(17): 5195-5205.
- Kitamura S., Shikazono N., Tanaka A. Transparent Testa 19 is involved in the accumulation of both anthocyanins and proanthocyanidins in *Arabidopsis*. *The Plant Journal* 2004; 37(1): 104–114.
- Koh J., Xu Z., Wicker L. Blueberry pectin and increased anthocyanins stability under *in vitro* digestion. *Food Chemistry* 2020; 302: 125343.
- Kong JM., Chia LS., Goh NK., Chia TF., Brouillard R. Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 2003; 64(5): 923–933.
- Kovinich N., Kayanja G., Chanoca A., Riedl K., Otegui MS., Grotewold E. Not all anthocyanins are born equal: distinct patterns induced by stress in *Arabidopsis*. *Planta* 2014; 240(5): 931–940.

- Koyama K., Sadamatsu K., Goto-Yamamoto N. Abscisic acid stimulated ripening and gene expression in berry skins of the Cabernet Sauvignon grape. *Functional & Integrative Genomics* 2010; 10(3): 367-381.
- Krick R., Muehe Y., Prick T., Bremer S., Schlotterhose P., Eskelinen EL., Millen J., Goldfarb DS., Thumm M. Piecemeal microautophagy of the nucleus requires the core macroautophagy genes. *Molecular Biology of the Cell* 2008; 19(10): 4492–4505.
- Lashbrooke J., Adato A., Lotan O., Alkan N., Tsimbalist T., Rechav K., Fernandez-Moreno JP., Widemann E., Grausem B., Pinot F., Granell A., Costa F., Aharoni A. The tomato MIXTA-like transcription factor coordinates fruit epidermis conical cell development and cuticular lipid biosynthesis and assembly. *Plant Physiology* 2015; 169: 2553–2571.
- Li F., Vierstra RD. Autophagy: a multifaceted in- tracellular system for bulk and selective recycling. *Trends in Plant Science* 2012; 17(9): 526–537.
- Marinova K., Pourcel L., Weder B., Schwarz M., Barron D., Routaboul JM., Debeaujon I., Klein M. The *Arabidopsis* MATE transporter TT12 acts as a vacuolar flavonoid/H⁺- antiporter active in proanthocyanidin-accumulating cells of the seed coat. *The Plant Cell* 2007; 19(6): 2023–2038.
- Markham KR., Gould KS., Winefield CS., Mitchell KA., Bloor SJ., Boase MR. Anthocyanic vacuolar inclusions—their nature and significance in flower colouration. *Phytochemistry* 2000; 55(4): 327–336.
- Marrs KA., Alfenito MR., Lloyd AM., Walbot V. A glutathione S-transferase involved in vacuolar transfer encoded by the maize gene Bronze-2. *Nature* 1995; 375(6530): 397–400.
- Martín J., Navas, MJ., Jiménez-Moreno AM., Asuero AG. Anthocyanin pigments: Importance, sample preparation and extraction. *Phenolic Compounds-Natural Sources, Importance and Applications* 2017; 117-152.
- Mazza G., Miniati E. Grapes, anthocyanins in fruits, vegetables and grains. CRC Press 1993; 149-199.
- Mclellan MR., Kime RW., Lee CY., Long TM. Effect of honey as an anti- browning agent in light raisin processing. *Journal of Food Processing and Preservation* 1995; 19(1): 1–8.
- Meralı R., Doğan İS., Kanberoğlu SG. Fonksiyonel gıda bileşeni olarak antioksidanlar. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2012; 2(2): 45-50.
- Middleton EJ, Kandaswami C., Theoharides TC. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol Reviews* 2000; 52(4): 673–751.
- Milbury PE., Kalt W. Xenobiotic metabolism and berry flavonoid transport across the blood–brain barrier. *Journal Agriculture of Food Chemistry* 2010; 58(7): 3950–3956.
- Mojica L., Berhow M., De Mejia EG. Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food Chemistry* 2017; 229: 628–639.
- Mortensen A. Carotenoids and other pigments as natural colourants. *Pure and Applied Chemistry* 2006; 78(8): 1477–1491.

- Müller O., Sattler T., Flötenmeyer M., Schwarz H., Plattner H., Mayer A. Autophagic tubes: vacuolar invaginations involved in lateral membrane sorting and inverse vesicle budding. *Journal of Cell Biology* 2000; 151(3): 519–528.
- Nakabayashi R., Yonekura-Sakakibara K., Urano K., Suzuki M., Yamada Y., Nishizawa T., Matsuda F., Kojima M., Sakakibara H., Shinozaki K. Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *Plant Journal* 2014; 77: 367–79.
- Nesi N., Jond C., Debeaujon I., Caboche M., Lepiniec L. The *Arabidopsis* TT2 gene encodes an R2R3 MYB domain protein that acts as a key determinant for proanthocyanidin accumulation in developing seed. *The Plant Cell* 2001; 13(9): 2099–2114.
- Newton D. pKa values of medicinal compounds in pharmacy practice. *Drug Intelligence & Clinical Pharmacy* 1978; 12(9): 546–554.
- Nguyen CT., Lim S., Lee JG., Lee EJ. VcBBX, VcMYB21 and VcR2R3 MYB transcription factors are involved in UV-B-induced anthocyanin biosynthesis in the peel of harvested blueberry fruit. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2017; 65(10): 2066–2073.
- Noda KI., Glover BJ., Linstead P., Martin C. Flower colour intensity depends on specialized cell shape controlled by a Myb-related transcription factor. *Nature* 1994; 369(6482): 661-664.
- Novotny JN., Clevidence BA., Kurilich AC. Anthocyanin kinetics are dependent on anthocyanin structure. *British Journal of Nutrition* 2012; 107(4): 504 – 509.
- Nozue M., Kubo H., Nishimura M., Katou A., Hattori C., Usuda N., Nagata T., Yasuda, H. Characterization of intra- vacuolar pigmented structures in anthocyanin-containing cells of sweet-potato suspension-cultures. *Plant and Cell Physiology* 1993; 34(6): 803–808.
- Nozue M., Yamada K., Nakamura T., Kubo H., Kondo M., Nishimura M. Expression of a vacuolar protein (VP24) in anthocyanin-producing cells of sweet potato in suspension culture. *Plant Physiology* 1997; 115(3): 1065–1072.
- Nozzolillo C., Anderson J., Warwick S. Anthocyanoplasts in the Brassicaceae: Does their presence serve as a chemotaxonomic marker within the family. *Polyphenols Actualites* 1995; 12: 25-26.
- Oszmianski J., Lee CY. Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1990; 38(10): 1892–1895.
- Parada J., Aguilera JM. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science* 2007; 72(2): 21–32.
- de Pascual-Teresa S., Sanchez-Ballesta MT. Anthocyanins: From plant to health. *Phytochemistry Reviews* 2008; 7(2): 281–299.
- Pecket RC., Small CJ. Occurrence, location and development of anthocyanoplasts. *Phytochemistry* 1980; 19(12): 2571–2576.
- Pourcel L., Irani NG., Lu Y., Riedl K., Schwartz S., Grotewold E. The formation of anthocyanic vacuolar in-clusions in *Arabidopsis thaliana* and implications for the sequestration of anthocyanin pigments. *Molecular Plant* 2010; 3(19): 78–90.

- Poustka F., Irani NG., Feller A., Lu Y., Pourcel L., Frame K., Grotewold E. A trafficking pathway for anthocyanins overlaps with the endoplasmic reticulum-to-vacuole protein-sorting route in *Arabidopsis* and contributes to the formation of vacuolar inclusions. *Plant Physiology* 2007; 145(4): 1323–1335.
- Prior RL., Wu X. Anthocyanins: Structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. *Free Radical Research* 2006; 40(10): 1014-1028.
- Regan BC., Julliot C., Simmen B., Viénot F., Charles-Dominique P., Mollon JD. Fruits, foliage and the evolution of primate colour vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 2001; 38(1407): 3321–3327.
- Rice-Evans CA., Miller NJ., Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine* 1996; 20(7): 933–956.
- Rio Senegade S., Soto Vázquez E., Díaz Losada E. Influence of ripeness grade on accumulation and extractability of grape skin anthocyanins in different cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 2008; 21(8): 599–607.
- Rudell DR., Fellman JK., Mattheis JP. Preharvest application of methyl jasmonate to 'Fuji' apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. *Hort Science* 2005; 40(6): 1760-1762.
- Sancho RAS., Pastore GM. Evaluation of the effects of anthocyanins in type 2 diabetes. *Food Research International* 2012; 46(1): 378–386.
- Schaart JG., Dubos C., De La Fuente RI., van Houwelingen AMML., de Vos RCH., Honker HH., Xu W., Routaboul JM., Lepiniec L., Bovy AG. Identification and characterization of MYB-bHLH-WD40 regulatory complexes controlling proanthocyanidin biosynthesis in strawberry (*Fragaria × ananassa*) fruits. *New Phytologist* 2013; 197(2): 454–467.
- Selamoglu Z. Polyphenolic compounds in human health with pharmacological properties. *Journal of Traditional Medicine & Clinical Naturopathy* 2017; 6(4): 137.
- Selma MV., Espin JC., Tomas-Barberan FA. Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2009; 57(15): 6485-6501.
- Small CJ., Peckett RC. The ultrastructure of anthocyanoplasts in red-cabbage. *Planta* 1982; 154(2): 97–99.
- Snyder BA., Nicholson RL. Synthesis of phytoalexins in *sorghum* as a site-specific response to fungal ingress. *Science* 1990; 248(4963): 1637–1639.
- Sun Y., Li H., Huang JR. *Arabidopsis* TT19 functions as a carrier to transport anthocyanin from the cytosol to tonoplasts. *Molecular Plant* 2012; 5(2): 387–400.
- Takos AM., Jaffé FW., Jacob SR., Bogs J., Robinson SP., Walker AR. Light-induced expression of a MYB gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples. *Plant Physiology* 2006; 142(3): 1216–1232.

- Tanaka Y., Sasaki N., Ohmiya A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal* 2008; 54(4): 733–749.
- Tanaka S., Yamamoto K., Yamada K., Furuya K., Uyeno Y. Relationship of enhanced butyrate production by colonic butyrate-producing bacteria to immunomodulatory effects in normal mice fed an insoluble fraction of *Brassica rapa* L. *Applied and Environmental Microbiology* 2016; 82(9): 2693-2699.
- Taylor LP., Grotewold E. Flavonoids as developmental regulators. *Current Opinion in Plant Biology* 2005; 8(3): 317-323.
- Teixeira LL., Costa GR., Dörr FA., Ong TP., Pinto E., Lajolo FM. Potential antiproliferative activity of polyphenol metabolites against human breast cancer cells and their urine excretion pattern in healthy subjects following acute intake of a polyphenol-rich juice of grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.). *Food & Function* 2017; 8(6): 2266-2274.
- Thiranusornkij L., Thamnarathip P., Chandrachai A., Kuakpetoon D., Adisakwattana S. Comparative studies on physicochemical properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their applications in bread. *Food Chemistry* 2019; 283: 224-231.
- Toguri T., Umemoto N., Kobayashi O., Ohtani T. Activation of anthocyanin synthesis genes by white light in eggplant hypocotyl tissues, and identification of an inducible P-450 cDNA. *Plant Molecular Biology* 1993; 23(5): 933-946.
- Tomic J., Stajic ZK., Pesakovic M. The role of berry growing technology on bioactive compound improvement, In *Phenolic compounds: structure, uses and health benefits*, Oliver P, Villem A, Nova Science Publishers 2017; 37-92.
- Tsai PJ., Hsieh YY., Huang TC. Effect of sugar on anthocyanin degradation and water mobility in a roselle anthocyanin model system using O-17 NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2004; 52(10): 3097–3099.
- Uttenweiler A., Schwarz H., Neumann H., Mayer A. The vacuolar transporter chaperone (VTC) complex is required for microautophagy. *Molecular Biology of the Cell* 2007; 18(1): 166–175.
- Uyeno Y., Katayama S., Nakamura S. Changes in mouse gastrointestinal microbial ecology with ingestion of kale. *Benef Microbes* 2014; 5(3): 345-349.
- Vermerris W., Nicholson R. *Phenolic compound biochemistry*, Netherlands, Springer 2006; 1-62.
- Viljanen K., Kivikari R., Heinonen M. Protein-lipid interactions during liposome oxidation with added anthocyanin and other phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2004; 52(5): 1104-1111.
- Wallace TC., Guisti MM. *Anthocyanins in Health and Disease* 2009, USA.
- Wallace TC. Anthocyanins in Cardiovascular Disease. *Advances in Nutrition* 2011; 2(1): 1–7.
- Wallace TC., Guisti MM. Anthocyanins, *Advances in Nutrition* 2015; 6(5): 620–622.

- Wallace TC., Giusti MM. Anthocyanins—Nature’s bold, beautiful, and health-promoting colours, *Foods* 2019; 8: 550.
- Wang H., Cao G., Prior RL. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1997; 45(2): 304–309.
- Wang LS., Stoner GD. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters* 2008; 269(29): 281–290.
- Wang L., Lee IM., Zhang SM., Blumberg JB., Buring JE., Sesso HD. Dietary intake of selected flavonols, flavones, and flavonoid-rich foods and risk of cancer in middle-aged and older women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2009; 89(3): 905–912.
- Weber F., Boch K., Schieber A. Influence of copigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from Blackberry. *Elsevier* January 2017; 75: 72-77.
- Winkel-Shirley B. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiology* 2011; 126(2): 485–493.
- Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current Opinion in Plant Biology* 2002; 5(3): 218–223.
- Wu X., Beecher GR., Holden JM., Haytowitz DB., Gebhardt SE., Prior RL. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal Agriculture of Food Chemistry* 2006; 54(11): 4069–4075.
- Xie XB., Li S., Zhang RF. The bHLH transcription factor MdbHLH3 promotes anthocyanin accumulation and fruit coloura- tion in response to low temperature in apples. *Plant, Cell & Environment* 2012; 35(11): 1884–1897.
- Xie R., Zheng L., He S., Zheng Y., Deng L. Anthocyanin biosynthesis in fruit tree crops: Genes and their regulation. *African Journal of Biotechnology* 2014; 10(86): 19890-19897.
- Xie L., Su H., Sun C., Zheng X., Chen, W. Recent advances in understanding the anti-obesity activity of anthocyanins and their biosynthesis in microorganisms, *Trends in Food Science & Technology* 2017; 72: 13-24.
- Xu H., Wang N., Liu J. The molecular mechanism under- lying anthocyanin metabolism in apple using the MdMYB16 and MdbHLH33 genes. *Plant Molecular Biology* 2017; 94(1): 149–165.
- Xu Z., Mahmood K., Rothstein SJ. ROS induces anthocyanin production via late biosynthetic genes and anthocyanin deficiency confers the hypersensitivity to ROS-generating stresses in *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.* 2017; 58:1364–77.
- Xu W., Shioiri H., Kojima M., Nozue M. Primary structure and expression of a 24-kD vacuolar protein (VP24) pre- cursor in anthocyanin-producing cells of sweet potato in suspen- sion culture. *Plant Physiology* 2001; 125(1): 447–455.
- Yetim H. Siyah havuç ve kırmızı lahanadan ekstrakte edilen antosiyanin bazlı renk maddelerinin biyolojik özelliklerinin belirlenmesi ve bazı gıda maddelerinde renklendirici olarak kullanımı Araştırma Raporu 2011; Proje No: FBA- 08 768.

- Yoshida K., Kondo T., Okazaki Y., Katou K. Cause of blue petal colour. *Nature* 1995; 373: 291
- Zand R., Jenkins DJA., Diamandis, EP. Flavonoids and steroid hormone dependent cancers. *Journal of Chromatogr B* 2002; 777(1-2): 219-232.
- Zhang H., Wang L., Deroles S., Bennett R., Davies, K. New insight into the structures and formation of anthocyanic vacuolar inclusions in flower petals. *BMC Plant Biology* 2006; 6(1): 1-14.
- Zhao X., Zhang SS., Zhang XK., He F., Duan CQ. An effective method for the semi-preparative isolation of high-purity anthocyanin monomers from grapepomace. *Food Chemistry* 2020; 310: 125830.

Deri Endüstrisinde Krom Kullanımı ve Biyolojik Yöntemlerle Krom Giderimi

Berat ÇINAR ACAR*¹, Zehranur YÜKSEKDAĞ²

^{1,2}Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06500, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0003-4662-0865>

²<https://orcid.org/0000-0002-0381-5876>

*Sorumlu yazar: beratcinar@gazi.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.03.2022

Kabul tarihi: 19.09.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Deri Endüstrisi

Krom

Biyoremediasyon

Cr(VI) İndirgeme

Biyosorpsiyon

ÖZ

Endüstriyel faaliyetler, zirai ve evsel atıklar sonucu atık sularda bazen eser miktarda bazen de yüksek konsantrasyonda metaller bulunmaktadır. Metaller sularda çözülmüş halde bulunarak ya da su dibinde toplanarak kimyasal kirliliğe ve de çevre kirliliğine neden olmakta ve canlı sağlığı için de tehdit oluşturmaktadır. Deri sanayinde fazla miktarda su kullanılmakta olup, oluşan atık sular yüksek oranda kirletici madde içermektedir. Deri işleme sonucu oluşan atık suyun arıtılmadan alıcı ortama verilmesi durumunda, temiz su kaynakları kirlenmekte ve kullanımı kısıtlanmaktadır. Bu nedenle atık sularının, çevreye deşarj edilmeden önce uygun tekniklerle bertaraf edilip zararlı etkisinin azaltılması ve/veya giderilmesi oldukça önemlidir. Atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında fiziksel ve kimyasal yöntemler etkin olarak kullanılırken, özellikle son yıllarda biyolojik yöntemlerle giderim işlemi de yaygınlık kazanmıştır. Kirleticilerin mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak, çevreye daha az zararlı bileşiklere dönüştürülmesi biyolojik yöntemlerle uzaklaştırma işleminin temelini oluşturmaktadır. Bu derleme çalışmasında, endüstrinin birçok dalında etkin olarak kullanılan yüksek toksik özellikteki Cr(VI)'nın mikrobiyal yöntemler ile daha az toksik Cr(III)'e indirgenmesinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Chromium Use in Leather Industry and Chromium Removal by Biological Methods

Review

Article History:

Received: 18.03.2022

Accepted: 19.09.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Leather Industry

Chromium

Bioremediation

Cr(VI) Reduction

Biosorption

ABSTRACT

As a result of industrial activities, agricultural, and domestic wastes, there are sometimes traces and sometimes high concentrations of metals in wastewater. Metals being dissolved in water or collected at the bottom of the water cause chemical pollution and environmental pollution and pose a threat to the health of living things. A large amount of water is used in the leather industry, and the resulting wastewater contains high levels of pollutants. In case the wastewater generated as a result of leather processing is given to the receiving environment without being treated, clean water resources are polluted and its use is restricted. For this reason, it is very important to eliminate and/or eliminate the harmful effects of wastewater with appropriate techniques before it is discharged into the environment. While physical and chemical methods are used effectively in the removal of heavy metals from wastewater, the removal process by biological methods has also become widespread, especially in recent years. The biological decomposition of pollutants by microorganisms and their conversion to compounds that are less harmful to the environment form the basis of the biological removal process. In this review, the importance of reducing the highly toxic Cr(VI), which is used effectively in many branches

of industry, to less toxic Cr(III) by microbial methods has been tried to be emphasized.

To Cite: Çınar Acar B., Yüksekdağ Z. Deri Endüstrisinde Krom Kullanımı ve Biyolojik Yöntemlerle Krom Giderimi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 1006-1029.

Giriş

Ağır metaller doğada kalıcı olduğundan tüm yaşam formları için toksiktir. Sanayileşme, kentleşme ve kontrolsüz tarım uygulamalarının artması, çevreye sürekli ağır metal salınmasına ve bunun sonucunda da su ve toprakta kirliliğe neden olmaktadır (Tayang ve Songachan, 2021). Çeşitli su kaynağı alanlarının jeolojik yapıları, belirli bölgelerde su kirliliğine neden olabilecek farklı ağır metal konsantrasyonlarının bulunmasına yol açmaktadır (Ewuzie ve ark., 2020; Zaimie ve ark., 2021).

Canlı sağlığına ve çevre kirliliğine neden olan kirleticilerden olan kromun, sulu çözeltilerde Cr(VI) ve Cr(III) formu hâkim olarak bulunmaktadır. Cr(VI), kromun en toksik formudur, hücre içindeki toksisitesi indirgeme süreçlerinden ve serbest radikallerin oluşumundan kaynaklanmaktadır (Vaiopoulou ve Gikas, 2020; Bratovic ve ark., 2022). Toprak ve su kaynaklarında kirletici olarak oldukça kalıcı olması nedeniyle büyük bir çevresel endişe kaynağıdır (Gan ve ark., 2018; Sharma ve ark., 2022). Cr(III) indirgenmiş halde suda çözünmez iken, Cr(VI) oksitlenmiş haldeyken suyun içinde çözünebilmektedir. Bu nedenle, sucul ortamlarda Cr(VI) varlığının gözlenmesi, içme suyu kaynakları için oldukça tehlikelidir. Sülfat indirgeyen bakteriler, demir indirgeyen bakteriler, fakültatif aerobik bakteriler ve fermantatif mikroorganizmalar, düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir olmaları nedeniyle, yüksek toksik özellik gösteren Cr(VI)'nın Cr(III)'e indirgenmesinde son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bai ve ark., 2018; Gan ve ark., 2018).

Krom, deri sanayi, tekstil, metalurji, elektrokaplama, boya ve pigment üretimi, kâğıt hamuru ve kâğıt üretimi, madencilik işletmeleri, petrol sanayi gibi birçok endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir (Leong ve Chang, 2020; Rahman ve Thomas, 2021; Sharma ve ark., 2022). Uygulama endüstrilerinin yüzey altı bölgelerine istenmeyen miktarlarda salınabildiğinden dolayı kanalizasyon sularına karışması çevre ve canlı sağlığı için önemli tehditler oluşturmaktadır (Cao ve ark., 2018; Ishfaq ve ark., 2019; Nyoja ve ark., 2020). Deri endüstrisinde tabaklama işlemi sırasında kullanılan krom tuzlarının, kontrolsüz ve bilinçsizce kullanılması, atık suların fazla miktarda krom oksit içermesine neden olmaktadır. Atık suya karışan toksik kirleticilerin, çevre ve canlı sağlığı açısından önemli tehlike unsuru olmaları, gerekli giderim yöntemleri ile ortamda iyileştirme yapılmasını gerektirmektedir (Çetinkaya ve Çetinkaya, 2014)

Krom

Kromun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Krom; sert, çelik-gri, parlak, kırılğan, ısı ve korozyona karşı oldukça dayanıklı, doğada genellikle kristal yapıda bulunan, yüksek elektrik direncine sahip bir elementtir (Gautam ve ark., 2022). Ağır metaller arasında krom (CrVI) yerkaşağında en bol bulunan yedinci element olarak kabul

edilmektedir. Ayrıca, krom, yaygın endüstriyel ve metalurjik uygulamaları nedeniyle toprak ve su kaynaklarında en yaygın olarak bulunan ikinci kirleticidir (Sharma ve ark., 2022). Krom, genellikle oksit ve sülfat bileşikleri halinde bulunurken, yüksek sıcaklıklarda birçok element ile reaksiyona girebilmektedir (Mohanty ve Kumar, 2013). Tablo 1’de kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1. Kromun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Kaya, 2014)

| | |
|--|---------------------------------------|
| Ortalama atomik kütle | 51,9961 gram |
| Boyca genleşme katsayısı | 62×10^{-7} cm/cm/°C (0°C) |
| Yoğunluğu | 7,19 g/cm ³ |
| Elektrik iletkenliği | $0,0744 \times 10^6$ /cm |
| Isı iletkenliği | 0,937 W/cmK |
| Niteliği | Sert kırılğan gri renkli geçiş metali |
| Yanabilirlik sınırı | Yanıcı olmayan katı |
| Erime noktası | 2130 K, 1857°C, 3375°F |
| Kaynama noktası | 2945 K, 2672°C, 4828°F |
| Molar hacmi | 7,78 cm ³ /mol |
| Fiziki hali | Katı (20°C, 1 atm) |
| Özgül ısısı | 0,45 J/g.K |
| Nötron/proton/elektron sayısı | 28/ 24/ 24 |
| Atomik yarıçapı | 1,85 Å |
| Atomik hacim | 7,23 cm ³ /mol |
| İyonik yarıçapı | 0,52 Å |
| Kovalent yarıçapı | 1,18 Å |
| Kristal yapısı | Kübik merkezli |
| Elektron dizilimi | $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^5 4s^1$ |
| Her enerji seviyesindeki elektron sayısı | 2, 8, 13, 1 |
| Elektronegatiflik | 1,66 Pauling ölçeği |

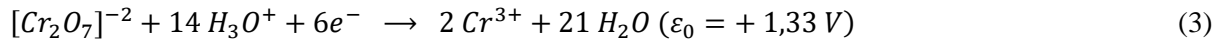
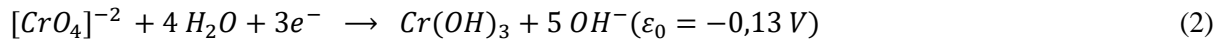
Krom Türleri

Krom, Cr(II) 'den Cr(VI)' ya kadar birçok yükseltgenme basamağında bulunabilmektedir (Chen ve ark., 2018). Cr(IV) ve Cr(V) çevrede ender olarak, kararsız halde bulunurken, krom türlerinden sadece Cr(III) ve Cr(VI) doğada bulunabilecek kararlılığa sahiptir (Zahoor ve Rehman, 2009). Cr(III) düşük ya da yüksek oksidasyon basamaklarına geçerken fazla miktarda enerjiye gereksinim duymaktadır. Bu nedenle oksidasyon basamağı en kararlı krom formu Cr(III)'dür. Oksijenin yok denecek kadar az olduğu koşullarda, Cr(III) ortamda baskın halde bulunmakta ve alkali koşullarda Cr(OH)₃ halinde çökerek çözelti ortamından ayrılmaktadır. Cr(VI) özellikle asidik koşullarda kuvvetli bir yükseltgendir. Cr(VI) iyonu sulu sistemlerde farklı iyon formlarında (bikromat [HCrO₄]⁻, hegzavalent kromat [CrO₄]²⁻, dikromat [Cr₂O₇]²⁻) bulunabilmektedir. pH 1-6 değerleri arasında, asidik koşullarda

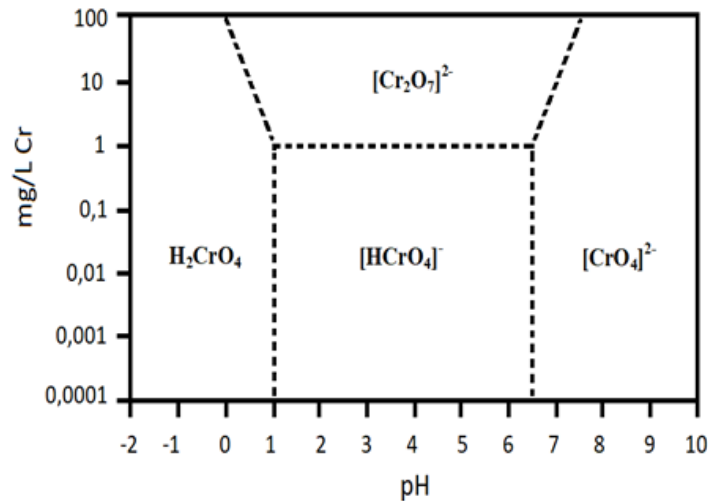
$[Cr_2O_7]^{2-}$ iyonları ortamda daha fazla mevcutken, pH 6'ya doğru yaklaştıkça $[HCrO_4]^-$ iyonu daha baskın hale gelmektedir. $pH \geq 6$ olan koşullarda Cr(VI) tamamen $[CrO_4]^{2-}$ iyonu formunda yer almaktadır (Dey ve Paul, 2016; Bharagava ve Mishra, 2018). Sarı renkli kromat ve turuncu renkli dikromat arasındaki denge reaksiyonu Eşitlik 1'de gösterilmektedir.



Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te gösterilen Le Chatelier prensibine göre; asidik ortamda denge sağa kayar ve $[Cr_2O_7]^{2-}$ baskın duruma geçerken, pH 6,5 ve üzerindeki pH koşullarında, dengedeki protonlar ortamdaki OH^- iyonları ile tüketileceğinden denge sola kayar ve $[CrO_4]^{2-}$ baskın duruma geçer (Eaton ve ark., 1998).



Cr(VI) türlerinin Şekil 1'de belirtilen dağılım grafiğine göre, kuvvetli asidik koşullarda ($pH < 1$) kromik asitin (H_2CrO_4) baskın olduğu görülmektedir. H_2CrO_4 , pH 1'in üzerinde bir protonunu kaybederek hidrojen kromat iyonunu oluşturur $[HCrO_4]^-$, pH 6'dan yüksek pH koşullarında ise, ikinci protonunu kaybeder ve kromat iyonu $[CrO_4]^{2-}$ formuna dönüşür. $[HCrO_4]^-$ iyon derişiminin 1 gL^{-1} 'den yüksek olması durumunda, iki $[HCrO_4]^-$ molekülünün su kaybederek birleşmesi sonucu dikromat $[Cr_2O_7]^{2-}$ iyonunun oluştuğu görülmektedir (Mohan ve Pittman, 2006).



Şekil 1. Cr (VI) türlerinin dağılım diyagramı (Mohan ve Pittman, 2006)

Kromun Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri

Birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılan krom, toksik özelliği nedeniyle çevre kirliliğine neden olan ve canlı sağlığı için tehlike oluşturan başlıca ağır metallere dendir (Sereshti ve ark., 2016;

Chen ve ark., 2018). Krom, kirlenmiş sularda ağırlıklı olarak iki farklı yükseltgenme basamağına sahip (+3 ve +6) katyonlar veya anyonik kökler halinde ($[\text{CrO}_4]^{2-}$, $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$) bulunurken, anyonik formlarda bulunan Cr(VI), kimyasal olarak katyonik formlardaki Cr(III)'den daha aktiftir (İrdemez ve ark., 2017).

Kararlı yapıda olan Cr(III) canlı organizma ve bitkiler için oldukça önemlidir. Cr(III) insülin regülasyonu ve glukoz metabolizması için gerekli kabul edilmektedir (Kan ve ark., 2017; Hamilton ve ark., 2018). Cr(III) bileşikleri, sadece düşük pH'da çözünmektedir. pH değeri 5'in üzerine çıktığı zaman Cr(OH)₃ şeklinde çökelmektedir. Cr(VI)'nın kuvvetli bir yükseltgen olmasına karşın, Cr(III)'ün yükseltgen özellik göstermemesi ve Cr(VI) iyonlarının Cr(III)'e kıyasla, hücre zarından daha hızlı bir şekilde geçebilmesi özelliklerinden dolayı, hegzavalent krom trivalent kroma göre daha zararlı etki göstermektedir. Ayrıca Cr(VI)'nın Cr(III)'den yaklaşık yüz kat daha toksik olduğu tahmin edilmektedir (Vendruscolo ve ark., 2017; Chen ve ark., 2022). Cr(VI) bileşiklerinin büyük çoğunluğu krom içeren endüstriyel atıkların deşarjı ile çevreye verilmekte ve çok düşük konsantrasyonlarda dâhi toksik, mutajenik ve karsinojenik etki gösterebilmektedir (Saranraj ve Sujitha, 2013).

Ağırlıklı olarak deri absorpsiyonu, yutma ve solunum yoluyla canlı yapısına alınan krom bileşiklerinin yüksek miktarlarda vücuda alınması burun, akciğer, karaciğer, mide ve bağırsaklarda önemli ölçüde zarar oluşturmaktadır (Jin ve ark., 2016; Tumolo ve ark., 2020; Bratovic ve ark., 2022). Cilde temas durumunda ciltte alerjik reaksiyonlara yol açarak, cilt ülserine neden olabilmektedir (Chen ve ark., 2018). Krom, eşik konsantrasyonların üzerindeki çoğu ağır metal gibi, güçlü bir çevresel zehirleyici olarak kabul edilmektedir ve su ortamına deşarjı genellikle uluslararası, ulusal veya yerel mevzuatla düzenlenmektedir. AB mevzuatında, metaller ve bileşikleri (ve dolayısıyla krom maddeleri) ana kirleticilerin gösterge listesine dâhil edilmiştir (CoE, 2000; Vaiopoulou ve Gikas, 2020). Su ve gıdalarda bulunabilecek toplam krom miktarına bir sınır değeri koyularak kromun zararlı etkilerinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Kromun biyolojik etkileri, büyük ölçüde krom türleşmesine bağlıdır. AB'de su ortamında (deniz suyu, göl, nehir ve kanalizasyon sistemi) maksimum deşarj limiti sırasıyla Cr(VI) ve Cr_{total} için 1 ve 5 mgL⁻¹'dir. Su ortamındaki ve yeraltı sularındaki krom varlığı, ya doğal kaynaklardan (mineraller) kaynaklı olarak (Beukes ve ark., 2017) ya da antropojenik aktivitenin sonucu oluşmaktadır (Jeřábková ve ark., 2018). Buna göre, yağmur suyunda (0,2-1,0 µgL⁻¹), deniz suyunda (0,04-0,5 µgL⁻¹), yüzey sularında (0,5-2,0 µgL⁻¹) ve yeraltı sularında (<1,0 µgL⁻¹) krom bulunmaktadır (WHO, 2003; WHO, 2019; Vaiopoulou ve Gikas, 2020). Amerika Çevre Koruma Teşkilatı'na göre, içme sularında izin verilen standart krom miktarı 0,1 mgL⁻¹'dir (US EPA, 2015). İçme suları için müsaade edilen maksimum Cr(III) ve Cr(VI) seviyeleri ise sırasıyla 5 mgL⁻¹ ve 0,05 mgL⁻¹'dir. Eşik değerinden daha yüksek değerlerde kromun canlı vücuduna alınması sonucu akut zehirlenmeler (1-5 g krom tuzu alınımı), gastrointestinal bulgular, kanamalar, kalp damar sisteminde bozukluklar ve şoka bağlı kriz ve ölümler gerçekleşebilmektedir (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010; Vendruscolo ve ark., 2017; Gautam ve ark., 2022).

Krom Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Deri sanayi, tekstil, metalurji, elektrokaplama, boya ve pigment üretimi, kâğıt hamuru ve kâğıt üretimi, madencilik işletmeleri, petrol sanayi gibi birçok endüstri alanında krom yaygın olarak kullanılmaktadır (Leong ve Chang, 2020; Rahman ve Thomas, 2021; Sharma ve ark., 2022). Tablo 2’de krom ve bazı ağır metallerin endüstrideki kullanım alanları yer almaktadır. Krom bileşikleri seramik ve cam yapımında renk verici madde, soğutma kulelerinde devreden su sistemlerinde pas önleyici, inşaat endüstrisinde pigment, yağ endüstrisinde antikorozyon, tekstil sanayisinde boya maddesi olarak ve bilgisayar sanayinde manyetik depolamada kullanılmaktadır. Ayrıca demir-çelik gibi metallerin yüzeyine kaplama maddesi olarak uygulanarak kırılma, darbe, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlamaktadır. Cr(III) tuzları, amino asit ve proteinlerle kompleks oluşturabilme yeteneklerinden dolayı deri tabaklamada etkin olarak kullanılmaktadır (Abalı ve ark., 2014).

Tablo 2. Bazı ağır metallerin etkin şekilde kullanıldıkları endüstri alanları (Abalı ve ark., 2014).

| Endüstri alanı | Cd | Cr | Hg | Pb | Ni | Sn |
|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Kâğıt ve Selüloz Sanayi | | + | + | + | + | + |
| Organik Kimyasal, Petrokimya | + | + | + | + | | + |
| Alkali, Klor, İnorganik Kimyasal | + | + | + | + | | + |
| Kimyasal Gübreler | + | + | + | + | + | + |
| Petrol Rafinerileri | + | + | + | + | + | + |
| Demir-Çelik Dökümhanesi | + | + | + | + | + | + |
| Metal Sanayi | + | + | + | + | | + |
| Motorlu Taşıt, Uçak Kaplaması | + | + | + | | + | |
| Cam, Çimento ve Asbest Üretimi | | + | | | | |
| Tekstil Sanayi ve Deri Tabaklama | | + | | | | |

Cd: Kadmiyum, Cr: Krom, Hg: Civa, Pb: Kurşun, Ni: Nikel, Sn: Kalay

Metalurji sanayiinde yaygın olarak kullanılan kromun yaklaşık %95’i ferrokrom şeklinde kullanılmaktadır. Ferrokrom özellikle paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında geniş kullanım alanına sahiptir. Ferrokrom, kromit cevherinin ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) karbotermik indirgenmesiyle pirometalurjik olarak üretilir. Ferrokrom üretiminde ana hammadde, temel olarak krom olan kromit ve mineral içeren demir oksitlerdir (Kumar ve ark., 2014). Dünyanın önemli krom üreticileri arasında yer alan ülkemiz, üretmiş olduğu ferrokromun çok büyük bir kısmını ihraç ederken ham cevher, ferrokrom ve krom kimyasallarının dış satımından önemli gelir kaynakları sağlamaktadır.

Deri Endüstrisinde Krom Kullanımı

Deri endüstrisinde üretim sonucu; küçük deri parçaları, çözünmüş proteinler, kıllar, kan, kireç, zırnık, sodyum hidroksit, krom, melas, nişasta, çeşitli glisitler, fenollü bileşikler ve bütün bu maddelerin

ayırışma ürünleri, alifatik asitler, gliserinler, boya madde ve pigment içeren çevre ve canlı sağlığı açısından zararlı atık sular oluşmaktadır (Agrawal ve ark., 2012). Deri tabaklamada çeşitli kimyasal maddeler kullanılmakta olup bunların birçoğu toksik bileşenler içermektedir. Krom, bunlar arasında en fazla kullanılan toksik kirletici özelliğe sahip ağır metaldir. Deri işlemede kullanılan krom yerine alternatif kimyasal kullanarak aynı kalitede ürün elde etmek mümkün olmadığından, deri endüstrisi için krom oldukça önem arz etmektedir. Deri endüstrisinde, derinin kalitesini arttırmak için uygulanan kromla tabaklama işleminin mekanizması, krom kompleksleriyle deri kollajeninin karboksil gruplarının reaksiyona girmesi temeline dayanmaktadır. Deri tabaklama sırasında kromun +3 değerlikli tuzu olan bazik krom sülfat kullanılmaktadır. Bu tuzlar, +6 değerlikli olan sodyum bikromatın ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) su, sülfürik asit, şeker (melas veya glikoz) veya su ve kükürt dioksit gazı ile +3 değerlikli forma indirgenmesiyle elde edilmektedir. Tabaklama esnasında kullanılan Cr(III)'ün %30-40'ı işlemede kullanılmadan doğrudan atık suya karışmaktadır. Kromun geri kazanım işlemleri atık suyun giderilmesi sonucu elde edilen çamurun niteliğini de etkileyebileceğinden dolayı oldukça önemli görülmektedir (Çetinkaya ve Çetinkaya, 2010).

Deri endüstrisi; tabaklama ve deri işleme, saraciye ürünleri, giyim eşyası, kürkten eşya ve ayakkabı sektörüne kadar geniş bir üretim alanında etkinlik göstermektedir. Türk deri sektöründe üretim; altyapısı, teknolojisi ve ihracata yönelik performansı göz önünde bulundurulduğunda belirli bir rekabet gücüne sahip olmakla birlikte son dönemlerde tasarım ve moda alanlarında kayda değer gelişmeler göstermesiyle önemli bir dönüşüm süreci içerisine girmekte ve uluslararası pazarlarda önemli sanayi kollarından birisi haline gelmektedir (Anonim, 2015). Deri sanayisinin, hammaddesi hayvandan elde edilen ham deridir. Devlet Planlama Teşkilatı'nın 2000 yılı verilerine göre; ülkemizdeki hayvan kesimlerinin bir kısmı kontrol altında yapılırken bir kısmı da kontrolsüz olarak gerçekleştirilmektedir. Kontrolsüz yapılan kesimler sonucu deri üzerinde oluşan hatalı yüzüm nedeniyle deri kalitesi düşmekte ve kullanılmaz duruma gelmektedir. Bu durum kesimlerden toplanan ham deri miktarının ülke üretim kapasitesinin çok altında seyretmesine ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Günay, 2004).

Ham derinin işlenmesi esnasında; budama, ayıklama, ıslatma-yumuşatma, kıl giderme, kireçleme, kireç giderme, sama, pikle, tabaklama, nötralizasyon, yağlama, boyama, zımpara ve dolgu gibi çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bu uygulamalar sırasında deride bulunan kirletici ve toksik maddeler suya karışarak kirlilik oluşumuna neden olmaktadır. Arıtılması oldukça zor olan deri atık sularında organik azot, krom, sülfid, sülfat ve toksik metal tuzları gibi kirleticilerin derişimlerinin fazla miktarda olması, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacının da oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca deri endüstrisi atık suların arıtım yapılmadan doğrudan ortama verilmesiyle sudaki çözünmüş oksijen miktarı önemli derecede azalmakta bu durum oksijene ihtiyaç duyan canlılar açısından hayati tehlikeler oluşturmaktadır. Atık suda bulunan toksik maddelerin doğrudan ortama salınması nedeniyle canlı ölümleri kaçınılmaz bir hâl almaktadır. Bu nedenle endüstriyel atık suların atık su yönetmeliklerine uygun olarak arıtılması daha sonra alıcı ortama deşarj edilmesi gerekmektedir (Doğu ve ark., 2017).

Deri sanayisinde; ham derilerin ıslanması ve yıkanması, kimyasal maddelerin derilerle temasını sağlayacak ortam oluşturulması, boyama-yağlama işlemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin taşınması, oluşan kalıntıların deriden uzaklaştırılması, üretim alanlarının ve teçhizatın temizliği gibi amaçlarla oldukça fazla miktarda su kullanılmaktadır. 1 kg ham derinin işlenmesi sırasında 30-50 litre atık su oluşmaktadır. Tabaklama işlemi sonrası oluşan atık su miktarı deri sanayinde kullanılan toplam atık suyun yaklaşık olarak % 8-10'unu oluşturmaktadır (Bharagava ve Mishra, 2018).

Deri endüstrisinde, hayvan derilerinin bozulmadan ve zarar görmeden tabaklanabilir hale getirilebilmesi için, ağırlıklı olarak krom tuzları kullanılmaktadır. Tabaklama için farklı alternatif maddeler geliştirilmiş olsa da, krom tuzlarının daha uygun maliyetli olması ve hiçbir maddenin krom tuzlarının deriye verdiği etkiyi tek başına sağlayamaması gibi nedenlerden ötürü, krom tabaklama işlemi için vazgeçilmez hale gelmektedir. 1 ton ham derinin tabaklanması için ortalama 50 kg krom tuzuna ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ihtiyaç duyulmaktadır. Ham deri ağırlığının yaklaşık olarak % 5-8 oranında ortama krom bileşiği ilave edilmektedir (Çetinkaya ve Çetinkaya, 2010; 2014). Tabaklama işlemi öncesi ve sırasında gerekli kontrol ve özenin gösterilmemesi, kromun deri tarafından alınımı etkilemektedir. Ayrıca, krom tuzlarının kontrolsüzce fazla miktarda kullanılması, atık suyun yüksek miktarda krom oksit içermesine neden olmaktadır. Bu durum arıtma tesislerinin yükünü artırmaktadır (Çetinkaya ve Çetinkaya, 2010). Türkiye'de deri işleme sanayi, Balıkesir-Gönen, Bursa, Bolu-Gerede, Hatay, Isparta, İstanbul-Tuzla, İzmir-Menemen, Manisa-Kula, Tekirdağ-Çorlu ve Uşak'ta bulunmaktadır. Türkiye'de deri işleme faaliyetleri çevreye zarar vermeden uygun yöntemlerle yapılmaya çalışılmaktadır. Deri Organize Sanayi Bölgelerinde, Avrupa standartlarında, çevreye duyarlı, modern üretim gerçekleştirilmekte, özellikle deri organize sanayi bölgelerindeki arıtma tesisleri, çevre kirliliğinin önlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı, 2016).

Biyoteknolojik Yöntemlerle Krom Giderimi

Ağır metaller toksik, mutajenik ve karsinojenik özellik göstermesinden dolayı bu metallerin yüzey suları ve yer altı suları ile oluşabilecek herhangi bir kontaminasyon riski önemli bir sorun ve endişe teşkil etmektedir (Shekhar ve ark., 2014; Leong ve Chang, 2020). Ağır metallerin olumsuz etkileri göz önüne alındığında, ortamdan gidermek ve zararlı etkilerini en aza indirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Ağır metallerin sudan uzaklaştırılmasında klasik fizikokimyasal yöntemler (kimyasal oksidasyon, iyon değişimi, aktif karbon yoluyla adsorpsiyon, membran ayırma, çöktürme vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır (Aggarwal ve ark., 2022; Bratovic ve ark., 2022). Ancak, yüksek hacimler söz konusu olduğunda, bu işlemlerin yüksek sermaye ve işletme maliyeti gerektirmesi ve muhtemel ikincil kontaminasyon riski oluşturması bu işlemlerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Endüstriyel atık sulardan metallerin giderilmesi amacıyla uygulanan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yanı sıra biyolojik yöntemlerde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemlerle ağır metal giderimi mikroorganizmaların (bakteri, mantar, alg ve maya gibi) canlı ve/veya

ölü biyokütlesi, endüstriyel veya tarımsal atıklar, doğal olarak oluşan malzemeler (kil, kitin, kitosan, lignin ve zeolit gibi) ve bitkilerin farklı kısımları kullanılarak toksik ağır metal iyonlarının nispeten daha az ve/veya toksik olmayan formlara ayrıştırılmasını ve/veya indirgenmesini içermektedir (Ayele ve Godeto, 2021). Sulardan ağır metal gideriminde kullanılan biyolojik yöntemler arasında; biyosorpsiyon, biyoremediasyon ve fitoremediasyon yöntemleri yer almaktadır (Leong ve Chang, 2020).

Biyoremediasyon

Biyoremediasyon kirlilik oluşturan organik bileşiklerin mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanarak, ekosistem için daha az zararlı bileşiklere dönüştürülmesini sağlayan biyolojik iyileştirme yöntemlerdir. Biyoremediasyon uygulanabilir, düşük maliyetli, çevre dostu ve etkin bir yöntem olması nedeniyle atık sulardan ağır metallerin gideriminde yaygın olarak tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir (Gautam ve ark., 2022; Kookhae ve ark., 2022). Düşük ağır metal konsantrasyonunda, bakteri, mikroalg, maya ve mantar gibi farklı organizmalar kullanılarak ağır metallerin biyoremediasyonu, geleneksel yöntemlere alternatif olarak yaygın olarak uygulanmaktadır (Leong ve Chang, 2020). Ağır metallerin ortamdan uzaklaştırılması için kontamine alanlarda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların kullanımı tercih edilse de, kirli ortamlardan izole edilmiş olan mikroorganizmalar, adsorpsiyon, metilasyon, oksidasyon ve indirgeme gibi çeşitli mekanizmalarla ağır metal toksisitesinden korunma yetenekleri geliştirdiklerinden ve direnç mekanizmalarına sahip olduklarından dolayı çok dikkat gösterilmelidir (Tayang ve Songachan, 2021).

Mikrobiyal hücrelerin immobilizasyonu, yüksek biyokütle ve metabolik aktivite, stabilite ve toksik kimyasallara karşı güçlü direnç sağlama gibi önemli avantajlar kazandırdığı için atık suların arıtımında oldukça önemlidir (Martins ve ark., 2013; Kumari ve ark., 2016). Yüksek toksisite özelliğe sahip Cr(VI)'nın kroma dirençli bakteriler tarafından daha az toksik olan Cr(III)'e indirgenmesi çevre ve canlı sağlığı açısından oldukça önemlidir. *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Brucella*, *Desulfovibrio*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Intrasporangium*, *Leucobacter*, *Methanogens*, *Pseudomonas*, *Rhizopus*, *Shewanella*, *Streptomyces* ve *Thermus* cinsi bakteriler kroma dirençli bakteriler arasında yer almaktadır (Verma ve Kuila, 2019; Hossan ve ark., 2020; Tan ve ark., 2020). Bakteriler, hem aerobik hem de anaerobik ortamlarda Cr(VI)'yı indirgeyebilirler ancak anaerobik koşullarda, krom indirgenmesi sitoplazmik membranın içinde ya da dışındaki çözünür enzimler tarafından katalize edilmektedir ve Cr(VI)'nın elektron taşıma zincirinde alternatif bir elektron alıcısı olarak kullanılmaktadır (Zheng ve ark., 2015). Biyoremediasyon; doğal biyolojik aktivitelerin kullanılmasıyla, kirleticilerin yıkıma uğratılmasını sağlayan bir arıtım yöntemidir. Bu yöntem, diğer remediasyon tekniklerinde (solidifikasyon/stabilizasyon, vitrifikasyon, toprak yıkama, elektrokinetik teknolojiler, vb.) olduğu gibi kirletici, bir fazdan diğerine dönüşmediği için daha kalıcı bir çözüm sağlamaktadır. Kirleticiler, biyolojik aktivitelerle karbondioksit ve su gibi zararsız son ürünlere dönüştürülmektedir (Tacıroğlu ve ark., 2016). Proses biyolojik aktiviteye dayalı olarak gerçekleştiği

için, ortamda yeterli mikroorganizma bulunması, biyoremediasyon boyunca oluşacak ürünlerin toksisite yaratmamasına neden olmakta ayrıca, mikroorganizmaları inhibe edici kimyasalların bulunması durumunda da kimyasalların seyreltilmesi büyük önem taşımaktadır. Biyoremediasyonun gerçekleştirilmesinde mikroorganizmaların büyümesini ve aktivitesini arttıracak besi ortamlarının, oksijenin, diğer elektron alıcılarının, uygun nem oranının, sıcaklığın, karbon ve enerji kaynaklarının sağlanması gerekmektedir (Dindar ve ark., 2010).

Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon, kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılması amacıyla sorbent olarak biyolojik kökenli materyallerin kullanıldığı yöntemlerdir (Torres, 2020). Biyosorpsiyon işleminin ana unsuru biyokütledir. Ağır metallerin gideriminde, biyosorbent olarak hem canlı hem de cansız biyokütle kullanımı ile ilgili çalışmalar yer almaktadır (Leong ve Chang, 2020). Ölü biyokütlenin kullanıldığı durumlarda, kirleticiler pasif olarak (metabolizmadan bağımsız) iyonik, kimyasal veya fiziksel mekanizmalar (biyosorpsiyon) yoluyla biyokütleyle bağlanmaktadır. Canlı biyokütle kullanımında süreç biraz daha karmaşıktır çünkü biyokütlenin metabolik aktivitesi pasif mekanizmalara eklenmektedir. Bu metabolik aktivite, kirleticilerin zardan hücre içine aktif olarak taşınmasına izin verirken, kirleticiler hücre içinde birikime uğrayabilmektedir (biyobirikim). Ayrıca, enzimatik aktivite canlı biyokütlerde korunduğu için, farklı enzimatik aktivitelerin kirleticinin durumunu değiştirme olasılığı da bulunmaktadır (biyodegradasyon ve biyotransformasyon) (Torres, 2020). Canlı organizmaların kullanımı her durumda uygun olmadığından ve cansız biyokütle kullanımının herhangi bir toksisite problemi teşkil etmemesi, bakım gerektirmemesi, biyokütle etkinlik kaybı olmadan uzun süre saklanabilmesi ve daha geniş bir çevre üzerinde çalışılabilmesi gibi olumlu etkileri nedeniyle biosorbent olarak kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Mikroorganizmalardan elde edilen biyokütlenin yanı sıra, tarımsal-endüstriyel atık malzemeler (Costa ve ark., 2021) çamur (Kulkarni ve ark., 2019; Taki ve ark., 2019), polisakaritler (Hussein ve ark., 2019), bitki türevli malzemeler (Franco ve ark., 2020; Medhi ve ark., 2020; Wang ve Huang, 2020) ve biyopolimerler (Zhang ve ark., 2020) gibi malzemeler de kirleticileri ortadan kaldırmak için biyosorbent olarak kullanılabilir. Biyosorpsiyon yönteminin çevre dostu olması, toksisite kısıtlaması olmaması, ekonomik ve basit bir işlem olması nedeniyle de kullanımı oldukça uygun ve yaygındır (Balaji ve ark., 2016; Abinandan ve ark., 2019).

Fitoremediasyon

Fitoremediasyon, pestisitler, hidrokarbonlar ve ağır metaller gibi çevresel kirleticileri parçalamak, azaltmak, metabolize etmek ve asimile etmek için çeşitli bitkiler ve rizosferik mikroorganizmaların kullanıldığı biyolojik yöntemlerdir (Ojuederie ve Babalola, 2017; Al-Dhabi ve Arasu, 2022). Fitoremediasyon, çok büyük miktarlardaki numunelerin işlenmesi için uygundur ve bunları minimum çevresel bozulma ile düzeltmek mümkündür (Mustafa ve Hayder, 2021). Ayrıca ucuz, çevre dostu ve

özellikle ağır metallere oluşan kirlenmiş ortamların restorasyonu için verimli bir yöntemdir (Tak ve ark., 2013).

Fitoremediasyonda kullanılan bitkiler, çok yüksek ağır metal birikim potansiyeline ve düşük biyokütle verimliliğine sahip hiperakümülatörler ve hiperakümülatörlerden daha az ekstraksiyon kapasitesine sahip olan ancak toplam biyokütle verimi önemli ölçüde daha yüksek olan ve hızlı büyüyen türler olan hiperakümülatör olmayan bitkilerdir (Abbaszadeh-Dahaji ve ark., 2016; Choudhary ve ark., 2017). Fitoremediasyon teknikleri; fitoekstraksiyon, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon, fitodegradasyon, rizodegradasyon, hidrolik kontrol, vejetatif örtü sistemleri ve kıyı tampon şeritleri olarak sınıflandırılmaktadır (Ojuederie ve Babalola, 2017).

a) *Fitoekstraksiyon (Bitkisel Özümlenme)*; topraktaki metal kirleticilerin bitki kökleri aracılığıyla bitkilerin toprak üstü bileşenlerine alınması işlemidir (Jutsz ve Gnida, 2015). Hiperakümülatör bitkiler, kirlenmiş topraklardan büyük miktarda metalleri alarak, toprak üstündeki organlarda taşır ve biriktirir dolayısıyla bunlar fitoremediasyon için çok uygundur. Yaklaşık 500 takson, bazı metallerin hiperakümülatörleri olarak tanımlanmıştır. Bunlar arasında en fazla bilinen familyalar; *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cunouniaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae* ve *Violaceae*'dir (Muszynska ve Hanus-Fajerska, 2015). Bu bitkiler hızlı büyüme yeteneği, bol kök sistemi, sürgünlerde aşırı miktarda ağır metalleri detoksifiye etme ve tutma kapasitesi, metal iyonlarının kökten sürgüne translokasyonunu artırma gibi özelliklerden dolayı tercih edilmektedir. Fitoekstraksiyon yönteminin etkinliğinde kullanılan bitkinin seçimi, yüksek ağır metal konsantrasyonlarına karşı bitkinin tolerans derecesi ve bitkilerin ağır metalleri alması için gerekli köklerden açıkta kalan yüzeylere taşıma kapasitesi gibi etkenler oldukça önemlidir. Fitoekstraksiyon, topraktan ağır metallerin uzaklaştırılmasının yanı sıra katma değerli biyokütle üretimi de gerçekleştirmektedir ve bitki kullanılarak kirlenmiş ortamların iyileştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemdir (Ojuederie ve Babalola, 2017).

b) *Rizofiltrasyon (Köklerle Süzme)*; bitki kökleri tarafından filtrasyon yoluyla yeraltı suyundan toksik maddelerin ve/veya kirleticilerin giderilmesini içermektedir. Bu işlem, bitkiler tarafından rizosferik birikim mekanizmasına dayanmaktadır. Karasal bitkiler çevreden belirli elementleri almak için doğal güneş enerjisiyle çalışan pompalar kullandıklarından dolayı su bitkilerine kıyasla rizofiltrasyon için daha uygundur. Hiperakümülatör bitkiler gibi yüksek konsantrasyonlardaki toksik metalleri alma ve direnme kabiliyetine sahip olanlar ise bu işlem için en verimli bitkilerdir. Kontamine alanda çok sayıda kirleticinin bulunduğu durumlarda kirleticilerin bitki materyallerinde birikmesi ve depolanması nedeniyle bu yöntem yetersiz kalabilmektedir (López-Chuken, 2012).

c) *Fitostabilizasyon (Köklerle Sabitleme)*; bu yöntemin amacı bitki kökleri kullanarak, kirleticileri topraktan emmek, rizosfer içinde tutmak, ayrıştırmak ve stabilize etmek böylece zararlı etkisini

azaltarak çevreye yayılmasını engellemektir. Bu yöntem ile kirleticiler bitki kökleri tarafından tutuklanmaktadır. Bu nedenle fitostabilizasyonda kullanılan bitkiler, geniş bir kök sistemine ve köklerden sürgünlere metallerin düşük hareketliliğine sahip olmalıdır (Islam ve ark., 2013). Bir bitkinin fitostabilizasyon yeteneği, biyokömür veya kompost ilavesiyle pH ve organik madde içeriği değiştirilerek arttırılabilmektedir (Ojuederie ve Babalola, 2017).

d) *Fitovolatilizasyon (Bitkisel Buharlaştırma)*; kirleticiler bitkiler tarafından absorbe edilerek, daha az uçucu formlara dönüştürülerek atmosfere salınmaktadır (Rahman ve ark., 2016). Bu teknik ile cıvalı bileşikler gibi oldukça zehirli bileşikler daha az zararlı formlara dönüştürülebilmektedir (Rayu ve ark., 2012). Kirleticilerin fitovolatilizasyon sırasında salınan uçucu formlara dönüşmesi, rizosferde yaşayan mikroorganizmalarla birlikte bitkilerin metabolik potansiyellerinden kaynaklanmaktadır (Tak ve ark., 2013).

e) *Fitotransformasyon-Fitodegradasyon (Bitkilerde Bozunum)*; Fitodegradasyon, organik kirleticilerin bitki enzimleri tarafından tehlikeli olmayan formlara parçalanması işlemidir (Ali ve ark., 2013). Nitroredüktazlar ve dehalojenazlar gibi spesifik enzimler, bitkiler tarafından organik kirleticileri parçalamak için kullanılmaktadır (Favas ve ark., 2014). Topraktaki organik kirleticilerin bozunması, rizodegradasyon süreci yoluyla rizosferik mikroorganizmalar tarafından da arttırılabilmektedir (Ogunmayowa, 2015; Khanam, 2016). Ancak ağır metaller biyolojik olarak parçalanamaz olduklarından dolayı bu süreç yalnızca organik kirleticilerin uzaklaştırılmasıyla sınırlı kalmaktadır (Ojuederie ve Babalola, 2017).

f) *Fitostimülasyon*; bitki köklerinden çıkan eksüdatlarla organik kirleticileri parçalamak için mikrobiyal aktivitenin arttırılması işlemidir. Düşük konsantrasyonda etilen, kök uzamasını uyarırken yüksek seviyelerde hücre bölünmesini ve DNA sentezini engellemektedir. Ayrıca, bitkilerde abiyotik stresi azaltan 1-aminosiklopropan-1-karboksilaz deaminaz enzimi kullanılarak da bitkilerdeki etilen konsantrasyonu azaltılabilmektedir (Donot ve ark., 2012; Gaiero ve ark., 2013).

g) *Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum)*; Fito-stimülasyon olarak da bilinen rizodegradasyon, mikrobiyal aktivite yoluyla rizosferdeki (bitkilerin köklerini çevreleyen toprak alanı) kirleticilerin bozulması işlemidir (Hamutoğlu ve ark., 2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH'ler) rizodegradasyonu, bitki ve bakteri arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir ürünüdür. Rizodegradasyon, düşük maliyeti ve düşük çevresel yükü nedeniyle topraktaki PAH'ları iyileştirmede etkili bir yoldur. Topraktaki PAH'lar parçalanırken bitkinin rizosfer bakterilerinin büyümesini ve aktivitesini uyarma yeteneğinden yararlanılmaktadır (Dominguez ve ark., 2020). Maya, mantar veya bakteri gibi mikroorganizmalar kirleticileri enerji ve besin kaynağı olarak tüketirler. Biyolojik bozunma sürecinde, belirli mikroorganizmalar, yakıtlar veya çözücüler gibi tehlikeli kirleticileri toksik olmayan ve zararsız ürünlere parçalayabilmektedir. Ayrıca bitkiler de, şeker, alkoller ve asit gibi doğal karbon içeren maddeleri serbest bırakarak mikroorganizmalara aktivitelerini uyaran ek besinler sağlayabilirler. Rizodegradasyon amacıyla *Morus rubra L.*, *Mentha spicata*, *Medicago sativa* ve *Typha latifolia* bitkileri kullanılabilmektedir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

h) *Vegetatif Örtü Sistemleri*; kirliliğe neden olan metallerin kavak ağacı gibi dışarıdan ekstra müdahale gerektirmeden kendiliğinden yetişen bitki sistemi ile kontrol altına alınması tekniğidir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

ı) *Kıyı Tampon Şeritleri*; akarsulara doğru akan yeraltı ya da yüzey sularında bulunan kirleticilerin uzaklaştırılması için, akarsu kıyılarına uygun bitkilerin ekilmesiyle uygulanan işlemdir (Hamutoğlu ve ark., 2012).

Tabakhane Atıksularının Biyolojik Arıtımı

Endüstriyel atık sular arasında deri endüstrisi tabakhane atıksuları ekosistem için ciddi bir sorun kaynağıdır. Tabaklama işleminde yalnızca sınırlı miktarda atık su yeniden kullanılırken, bunların birçoğu asitler, çözücüler, ağır metaller (özellikle krom), boyalar ve diğer birçok organik ve inorganik bileşik gibi çeşitli tehlikeli kirleticiler içermektedir (Vijayaraj ve ark., 2018). Bu tür toksik kirleticilerle yüklü tabakhane atıklarının çevreye salınımı, insan ve diğer canlı organizmaların sağlığını etkileyen toprak ve su kirliliğine yol açarak bu suları tüketen canlılar için genotoksik, kanserojen ve sitotoksik etkiler göstermektedir (Kumar ve ark., 2022). Bu nedenle atıklarının çevreye bırakılmadan önce arıtılması oldukça önemlidir. Atıksuların biyolojik yöntemlerle arıtılması, diğer fizikokimyasal yöntemlere kıyasla daha ucuz ve etkin bir teknik olması nedeniyle yaygın kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Bacillus sp. (Martins ve ark., 2013), *Cellulosimicrobium* sp. (Bharagava ve Mishra, 2018), *Stenotrophomonas* sp. (Raman ve ark., 2018) gibi çeşitli mikroorganizmalar, oksijen varlığında veya yokluğunda kirleticilerin içeriğini enerji ve besin kaynağı olarak kullanarak önemli ölçüde azaltma yeteneğine sahiptirler. Ilias ve ark. (2011) çalışmalarında, tabakhane atıklarından izole ettikleri kroma dirençli *Staphylococcus aureus* ve *Pediococcus pentosaceus* (IFR-2 ve IFR-3) bakterilerini kullanmışlardır (Ilias ve ark., 2011). IFR-2 ve IFR-3 suşlarının sırasıyla 20 mgL⁻¹ Cr(VI)'yı 6 ve 24 saatte tamamen Cr(III)'e indirgediğini tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada, tabakhane suyundan izole edilen *Ochrobactrum intermedium* Rb-2, suşunun 100, 500 ve 1000 µgmL⁻¹ Cr(VI) konsantrasyonlarında ve farklı sıcaklıklarda indirgeme yeteneği araştırılmıştır. Buna göre; 100 µgmL⁻¹ Cr(VI) konsantrasyonunda, 28, 37 ve 42°C'de sırasıyla %88, 96 ve 92 oranında indirgeme olduğu gözlenmiştir. 500 µgmL⁻¹ konsantrasyonunda ve aynı sıcaklık koşullarında %86, 94 ve 89 oranında azalma ve son olarak 1000 µgmL⁻¹ konsantrasyonunda ve aynı sıcaklıklarda %87, 91 ve 90 oranında indirgeme olduğu rapor edilmiştir (Rida ve ark., 2012).

Deri endüstrisi tabakhane atıksularındaki kirleticilerin uzaklaştırılması için çeşitli biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır;

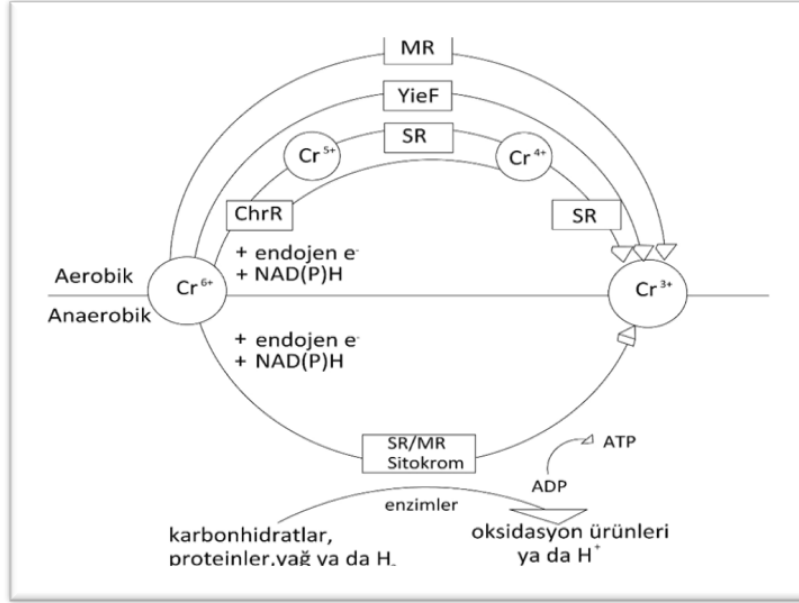
a) *Aerobik arıtım*; oksijen varlığında mikroorganizmalar tarafından atıksu içindeki organik maddelerin parçalanarak giderilmesi işlemidir. Atık çamur oluşumunun gözlenmesi ve enerji maliyetinin yüksek olması aerobik arıtımın dezavantajıdır (Küçükpelvan ve ark., 2017).

b) *Anaerobik arıtım*; oksijensiz ortamda anaerobik mikroorganizmalar tarafından organik ve inorganik maddelerin ayrıştırılması işlemidir. Organik kirleticiler az miktarda aktif çamura (bakteri hücre kütlesi) ve büyük miktarda biyogaza (metan ve karbondioksit) dönüştürülmektedir (Biswas ve ark., 2015).

Bakterilerin yanı sıra algler ve mantarlar da atıktaki bulunan organik maddeleri parçalama yeteneği göstermektedirler. Mantarlar tabakhane atıklarında çok yüksek asidik pH koşullarında bile arıtma sağlayabilmektedirler. Ayrıca mantarlar, hifleri aracılığıyla materyali yakalama, emme ve metabolizmaya yardımcı olma yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle, organik bileşenleri parçalamak için asidik ortamda mantarlar kullanılabilir (Christophe ve ark., 2016).

Mikrobiyal Cr(VI) İndirgeme Mekanizması

Yüksek derecede toksik Cr(VI)'nın daha az zararlı ve hareketli Cr(III)'e biyolojik olarak indirgenmesi, prokaryotik ve ökaryotik hücrelerin Cr(VI) toksisitesini engellemek için kullandıkları mekanizmalardır (Vijayaraj ve ark., 2018). Elektron donörlerinin ve diğer indirgeyici etkenlerin kısıtlı bulunması nedeniyle oluşan düşük verimlilik ve zayıf uyumluluk büyük ölçekli uygulamalarda Cr(VI) biyoremediasyonunu sınırlandırmaktadır (Malaviya ve Singh, 2016; Beretta ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020). Cr(VI)'ya dirençli tüm mikroorganizmaların Cr(VI)'yı indirgeme yeteneği bulunmazken (Rahman ve Thomas, 2021), *Aeromonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Microbacterium* ve *Pseudomonas* gibi mikroorganizmalar toksik Cr(VI)'yı indirgeyebilmektedir (Ma ve ark., 2018; Hossan ve ark., 2020). Mikrobiyal Cr(VI) indirgenmesi, direk enzimatik indirgeme ve indirek indirgeme olmak üzere iki yolla gerçekleşmektedir (Rahman ve Thomas, 2021); (I) Direk enzimatik indirgeme de redüktaz sistemiyle, metalin daha az toksik formuna indirgenmesi sağlanır ve Cr(VI) nihai elektron alıcısı olarak hareket etmektedir, (II) İndirek indirgeme de ise mikroorganizmalar indirgeyici ajanlar olarak hareket edebilen belirli metabolitler üretmektedir ve Cr(VI)'nın ya proteinler aracılığı ile hücre dışına atılımını gerçekleştirirler ya da bu metalin hücre içerisine alınımını durdurarak direnç yolları oluşturmaktadırlar (Vijayaraj ve ark., 2018). Doğrudan biyolojik Cr(VI) indirgenmesi, aerobik veya anaerobik koşullar altında üretilebilmekte ve genellikle NADH veya NAPH'ye bağlı hücre içi (zarla ilişkili) veya hücre dışı (çözünür) kromat redüktaz enzimleri tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Aerobik ve anaerobik şartlar altında enzimatik Cr(VI) indirgeme mekanizması Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Aerobik ve anaerobik şartlar altında enzimatik Cr(VI) indirgeme mekanizması (Pradhan ve ark., 2017).
YieF: FMN kofaktörü içeren flavoprotein, MR: çözümlü ve membrana bağımlı redüktaz, SR: çözümlü ve membrana bağımlı redüktaz

Cr(VI)'nın aerobik olarak indirgenmesinde; Cr(VI) ilk olarak Cr(V) ve Cr(IV) formuna dönüşmekte ardından son ürün olan Cr(III)'e indirgenmektedir. Ancak Cr(V)'in Cr(IV)'e ve Cr(IV)'ün de Cr(III)'e indirgenmesi işleminin enzim aracılığıyla mı yoksa kendiliğinden mi gerçekleştiği kesin olarak bilinmemektedir. Bu indirgenme reaksiyonunda NADH, NADPH ve endojen elektron rezervleri, elektron verici olarak işlev görmektedir. Kromat redüktaz enzimi (ChrR), bir elektronu ile Cr(VI)'yı Cr(V)'e indirgerken, diğer bir elektronunu Cr(IV)'e aktarmaktadır. Cr(V)'in iki elektron transferi ile Cr(III) oluşmaktadır. YieF enzimi ise dört elektron transferi ile (üç elektronun Cr(III)'e verildiği ve birinin de oksijene transfer edildiği) Cr(VI)'nın Cr(III)'e doğrudan indirgenmesini gerçekleştirmektedir (Cheung ve Gu, 2007). Cr(VI)'nın anaerobik indirgenme mekanizmasında, hem çözümlü kısımda hem de zarda indirgenmeden sorumlu enzimler bulunmaktadır. Aerobik koşuldaki enzimlerden farklı olarak anaerobik koşulda bulunan enzimlerde sitokrom içeren elektron taşıma sistemleri yer almaktadır (Dey ve Paul, 2016). Anaerobik koşullarda sülfat indirgeyen bakteriler tarafından üretilen H₂S gibi doğal anaerobik metabolitler, önemli Cr(VI) indirgeyicileridir. Oksijenin bulunmadığı koşullarda Cr(VI), solunum zincirinde karbohidratlar, proteinler, yağlar, hidrojen, NAD(P)H ve endojen elektron rezervlerini içeren uzun bir dizi donörler için terminal elektron akseptörü olarak görev almaktadır (Cheung ve Gu, 2007).

Sonuçlar

Sanayi, evsel ve tarımsal atıkların neden olduğu ağır metal kirliliği önemli bir çevre ve sağlık tehlikesi olarak kabul edilmekte ve bu ağır metaller çeşitli tiplerde toksikolojik belirtiler sergilemektedir (Priyadarshane ve Das, 2021). Ağır metaller arasında yer alan ve toksik özellik gösterdiği bilinen

kromun, Cr(VI) ve Cr(III) formlarının oksidasyon basamaklarının sulu çözeltilerde yüksek oranda bulunması ve çözünürlükleri nedeniyle bu formlar oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca Cr(VI)'nın sulu ortamlarda, tüm pH aralığında çözünmesi nedeniyle potansiyel zararını artıran yüksek hareketliliğe sahiptir (Njoya ve ark., 2020). Yüksek toksisiteye sahip Cr(VI)'nın kirletici etkisini azaltmak ve/veya etkisizleştirmek için çok çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Geleneksel iyileştirme yöntemlerinin pahalı olması ve çevreyi olumsuz etkileyen toksik yan ürünler üretmesi nedeniyle bakteri, alg, maya ve mantar gibi biyolojik ajanları kullanıldığı giderim yöntemleri yaygınlık kazanmaya başlamıştır (Priyadarshane ve Das, 2021). Biyolojik yöntemler yüksek uzaklaştırma verimliliği, düşük maliyeti ve bulunabilirliği gibi nedenlerden dolayı ağır metallerin uzaklaştırılması ve geri kazanılması için daha fazla ilgi görmeye başlamıştır (Rahman ve Thomas, 2021). Bu derleme, biyolojik yöntemlerle krom giderilmesi ve yüksek toksisiteye sahip Cr(VI)'nın daha az toksik forma indirgenmesi konusunda gelecek çalışmalar için bir kaynak görevi görmektedir.

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

- Abalı Y., Öztekin B., Çanlı M., Şirin K. Deri sanayi atık sularından krom (VI) iyonunun adsorpsiyonu. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2014; 10(1): 11-24.
- Abbaszadeh-Dahaji P., Omidvari M., Ghorbanpour M. Increasing phytoremediation efficiency of heavy metal-contaminated soil using PGPR for sustainable agriculture. In Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture; Choudhary, D.K., Varma, A., Tuteja, N., Eds.; Springer: New Delhi, India 2016; 187-204. 91.
- Abinandan S., Subashchandrabose SR., Venkateswarlu K., Perera IA., Megharaj M. Acid-tolerant microalgae can withstand higher concentrations of invasive cadmium and produce sustainable biomass and biodiesel at pH 3,5. Bioresource Technology 2019; 281, 469-473.
- Aggarwal R., Saini D., Sonkar SK., Sonker AK., Westman G. Sunlight promoted removal of toxic hexavalent chromium by cellulose derived photoactive carbon dots. Chemosphere 2022; 287, 3, 132287.
- Agarwal R., Singh R., Verma A., Panwar P., Verma AK. Partial purification and characterization of alkaline protease from *Bacillus* sp. isolated from soil. World Journal of Agricultural Sciences 2012; 8(1): 129-133.

- Ahmad WA., Venil CK., Chirwa EMN., Wang YT., Sani MH., Samad AFA., Kamaroddin MFA., Donati E.R., Urbietta MS., Zakaria ZA. Bacterial reduction of Cr(VI): Operational challenges and feasibility. *Current Pollution Reports* 2021; 7: 115-127.
- Al-Dhabi NA., Arasu MV. Biosorption of hazardous waste from the municipal wastewater by marine algal biomass. *Environmental Research* 2022; 204, 112115.
- Ali H., Khan E., Sajad MA. Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere* 2013; 91(7): 869-881.
- Anonim. Küresel rekabette İstanbul Sanayi Odası meslek komiteleri sektör stratejileri projesi. *Deri ve Deri Ürünleri İmalatı Sanayi* 2015, İstanbul.
- Ayele A., Godeto Y.G. Bioremediation of chromium by microorganisms and its mechanisms related to functional groups. *Hindawi Journal of Chemistry* 2021; Article ID 7694157, 21.
- Bai YN., Luc YZ., Shenc N., Lau TC., Zeng RJ. Investigation of Cr(VI) reduction potential and mechanism by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* under glucose fermentation condition. *Journal of Hazardous Materials* 2018; 344, 585-592.
- Balaji S., Kalavani T., Sushma B., Pillai CV., Shalini M., Rajasekaran C. Characterization of sorption sites and differential stress response of microalgae isolates against tannery effluents from ranipet industrial area-an application towards phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation* 2016; 18 (8): 747-753.
- Beretta G., Daghighio M., Espinoza Tofalos A., Franzetti A., Mastorgio A.F., Saponaro, S., Sezenna, E. Progress towards bioelectrochemical remediation of hexavalent chromium. *Water* 2019; 11:2336.
- Beukes JP., du Preez SP. van Zyl PG., Paktunc D., Fabritius T., Paatalo, M., Cramer, M. Review of Cr(VI) environmental practices in the chromite mining and smelting industry-relevance to development of the ring of fire. Canada. *Journal of Cleaner Production* 2017; 165, 874-889.
- Bharagava RN. and Mishra S. Hexavalent chromium reduction potential of *Cellulosimicrobium* sp. isolated from common effluent treatment plant of tannery industries. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2018; 147, 102-109.
- Biswas SK., Lisa LA., Rubaya R., Banu NA., Islam A., Roy AK., Islam R. Microbial treatment of tannery effluents: A Review. *Plant Environment Development* 2015; 4(2):13-20. ISSN 1994-1501.
- Bratovic A., Buksek H., Helix-Nielsen C., Petrinic I. Concentrating hexavalent chromium electroplating wastewater for recovery and reuse by forward osmosis using underground brine as draw solution. *Chemical Engineering Journal* 2022; 431, 1,133918.
- Cao W., Wang Z., Ao H., Yuan B. Removal of Cr(VI) by corn stalk based anion exchanger: the extent and rate of Cr(VI) reduction as side reaction. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2018; 539, 424-432.

- Chen L., Zhang J., Zhu Y., Zhang Y. Interaction of chromium(III) or chromium(VI) with catalase and its effect on the structure and function of catalase: An *in vitro* study. *Food Chemistry* 2018; 244, 378-385.
- Chen W., Li W., Wang T., Wen Y., Shi W., Zhang W., Guo B., Yang Y. Isolation of functional bacterial strains from chromium-contaminated site and bioremediation potentials. *Journal of Environmental Management* 2022; 307, 114557.
- Cheung KH. and Gu JD. Mechanism of hexavalent chromium detoxification by microorganisms and bioremediation application potential. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2007; 59(1): 8-15.
- Choudhary DK., Varma A., Tuteja N. *Plant-microbe interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*; Springer: New Delhi, India 2017.
- Christopher JG., Kumar G., Tesema AF., Thi NBD., Kobayashi T., Xu K. Bioremediation for tanning industry: A Future Perspective for Zero Emission. *Management of Hazardous Wastes* 2016; 186.
- CoE. European pollutant emission register (EPER), Commission decision according to article 15 of council directive 96/61/EC concerning the integrated pollution prevention and control (IPPC) official journal of the european communities, Council of Europe, Brussels, Belgium 2000.
- Costa AWMC, Guerhardt F., Junior SERR., Canovas G., Vanale RM., Coelho DF., D., Ehrhardt DD., Rosa JM., Tambourgi EB., Curvelo Santana JCC., Souza RR. Biosorption of Cr(VI) using coconut fibers from agro-industrial waste magnetized using magnetite nanoparticles. *Environ. Technol* 2021; 42(23): 3595-3606.
- Çağlarımak N. ve Hepçimen AZ. Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda* 2010; 8(2): 31-35.
- Çetinkaya F. ve Çetinkaya Y. Derinin tabaklanması işleminde maskeleyen maddeleri kullanımının krom alımı üzerine etkisinin araştırılması. *Hayvansal Üretim* 2020; 51(1): 40-47.
- Çetinkaya F., Çetinkaya Y. Maskeleyen Maddeleri Kullanılarak Kromla Tabaklanmış Giysilik Mamul Derilerin Bazı Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2014; 18(1): 48-54.
- Dey S. and Paul AK. Evaluation of chromate reductase activity in the cell-free culture filtrate of *Arthrobacter* sp. SUK 1201 isolated from chromite mine overburden. *Chemosphere* 2016; 156, 69-75.
- Dindar E., Şağban FO., Başkaya HS. Kirlenmiş toprakların biyoremediasyon ile ıslahı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2010; 15(2): 123-137.
- Doğu İ., Yalçın M., İleri B., Ayyıldız Ö. Deri Atık suyunun Sono-Elektrokimyasal Arıtımı. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2017; 3(1): 1-23.
- Dominguez JJA., Inoue C., Chien MF. Hydroponic approach to assess rhizodegradation by sudangrass (*Sorghum x drummondii*) reveals pH- and plant age-dependent variability in bacterial

- degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Journal of Hazardous Materials* 2020; 387, 121695.
- Donot F., Fontana A., Baccou J., Schorr-Galindo S. Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. *Carbohydr. Polym* 2012; 87(2): 951-962.
- Eaton AD., Clesceri LS., Greenberg AE. Franson MAH. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (19th). Washington: American Public Health Association, 1998; 3-61.
- Ewuzie U., Nnorom I.C., Eze SO. Lithium in drinking water sources in rural and urban communities in Southeastern Nigeria. *Chemosphere* 2020; 245, 125593.
- Favas PJ., Pratas J., Varun M., D'Souza R., Paul MS. Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: Potential of native flora. In *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*; Maria, C., Hernandez, S., Eds.; InTech: Shanghai, China 2014.
- Franco DSP., Georgin J., Drumm F.C., Netto M.S., Allasia D., Oliveira M.L.S., Dotto G.L. Araticum (*Annona crassiflora*) seed powder (ASP) for the treatment of colored effluents by biosorption. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27(10): 11184-11194.
- Gaiero JR., McCall CA., Thompson KA., Day NJ., Best AS., Dunfield KE. Inside the root microbiome: Bacterial root endophytes and plant growth promotion. *American Journal of Botany* 2013; 100, 1738-1750.
- Gan M., Lia J., Sunb S., Cao Y., Zhenga Z., Zhua J., Liua X., Wanga J., Qiu, G. The enhanced effect of *Acidithiobacillus ferrooxidans* on pyrite based Cr(VI) reduction. *Chemical Engineering Journal* 2018; 341, 27-36.
- Gautam A., Kushwaha A., Rani R. Reduction of hexavalent chromium [Cr(VI)] by heavy metal tolerant bacterium *Alkalihalobacillus clausii* CRA1 and its toxicity assessment through flow cytometry. *Current Microbiology* 2022; 79:33.
- Günay D. *Deri ve Deri İşleme Sanayii Sektörü. Türkiye Kalkınma Bankası Sektörel Araştırma Raporu* 2004; 1-43.
- Hamilton EM., Young SD., Bailey EH., Watts MJ. Chromium speciation in food stuffs. *Food Chemistry* 2018; 250, 105-112.
- Hamutoğlu R., Dinçsoy A. B., Cansaran-Duman D., Aras S. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen Deneysel Biyoloji Dergisi* 2012; 69(4): 235-253.
- Hossan S., Hossain S., Islam MR., Kabir MR., Ali S., Islam MS., Imran KM., Moniruzzaman M., Mou TJ., Parvez AK., Mahmud ZH. Bioremediation of hexavalent chromium by chromium resistant bacteria reduces phytotoxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17, 6013.
- Hussein MH., Hamouda RA., Elhadary AMA., Abuelmagd MA., Ali S., Rizwan M. Characterization and chromium biosorption potential of extruded polymeric substances from *Synechococcus*

- mundulus* induced by acute dose of gamma irradiation. Environmental Science and Pollution Research 2019; 26(31): 31998-32012.
- Ilias M., Rafiqullah IM., Debnath BC., Mannan KSB., Hoq MM. Isolation and characterization of chromium(VI)-reducing bacteria from tannery effluents 2011; 51(1): 76-81.
- Ishfaq A., Ilyas S., Yaseen A., Farhan M. Hydrometallurgical valorization of chromium, iron, and zinc from an electroplating effluent. Separation and Purification Technology 2019; 209, 964-971.
- Islam MS., Ueno Y., Sikder MT., Kurasaki M. Phytofiltration of arsenic and cadmium from the water environment using *Micranthemum umbrosum* (jf GMEL) sf blake as a hyperaccumulator. International Journal of Phytoremediation 2013; 15, 1010-1021.
- İrdemez Ş., Ekmekyapar Torun F., Durmuş G. Montmorillonit mineral kayacı kullanılarak çözeltilerden krom (III) iyonlarının giderimi ve etki eden parametrelerin incelemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2017; 19(57): 701-711.
- Jeřábková J., Tejnecký V., Borůvka L., Drábek O. Chromium in anthropogenically polluted and naturally enriched soils: A review. Scientia Agriculturae Bohemica 2018; 49(4): 297-312.
- Jin W., Du H., Zheng S., Zhang Y. Electrochemical processes for the environmental remediation of toxic Cr(VI): A review. Electrochimica Acta 2016; 191, 10, 1044-1055.
- Jutsz AM., Gnida A. Mechanisms of stress avoidance and tolerance by plants used in phytoremediation of heavy metals. Archives of Environmental Protection 2015; 41, 104-114.
- Kan CC., Sumalinog II MJR., Rivera KKP., Arazo RO., de Luna MDG. Ultrasound-assisted synthesis of adsorbents from groundwater treatment residuals for hexavalent chromium removal from aqueous solutions. Groundwater for Sustainable Development 2017; 5, 253-260.
- Kaya A. Polimer içerikli membranlarda kompleksometrik yöntem kullanılarak Cr(VI) metal kationunun taşınım kinetiğinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:95, Denizli, Türkiye, 2014.
- Khanam A. Phytoremediation: A green bio-engineering technology for cleanup the environmental contaminants. International Journal of Recent Scientific Research 2016; 7, 9925-9928.
- Kookhaee F., Tabatabaee AS., Jabalameli BL. Isolation and characterization of chromium (VI) tolerant bacteria from tannery effluents. Journal of Environmental Health Science and Engineering 2022.
- Kulkarni RM., Vidya Shetty K., Srinikethan G. Kinetic and equilibrium modeling of biosorption of nickel (II) and cadmium (II) on brewery sludge. Water Science and Technology 2019; 79, 888-894.
- Kumar L., Khushbu, Chugh M., Bharadvaja N. Microbial remediation of tannery wastewater. Development in Wastewater Treatment Research and Processes 2022; 303-328.
- Kumar PH., Srivastava A., Kumar V., Majhi MR., Singh VK. Implementation of industrial waste ferrochrome slag in conventional and low cement castables: Effect of microsilica addition. Journal of Asian Ceramic Societies 2014; 2(2): 169-175.

- Kumari V., Yadav A., Haq I., Kumar S., Bharagava RN., Singh SK., Raj A. Genotoxicity evaluation of tannery effluent treated with newly isolated hexavalent chromium reducing *Bacillus cereus*. *Journal of Environmental Management* 2016; 183, 204-211.
- Küçükpelvan H., Yarımtepe CC., Ayman Öz N. Deri Atıksuyunun Arıtım Metotları. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2017; 3(1): 59-96.
- Leong YK., Chang JS. Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. *Bioresource Technology* 2020; 303, 122886.
- López-Chuken UJ. Hydroponics and environmental clean-up. In *Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches*; Toshiki, A., Ed.; InTech: Shanghai, China 2012.
- Ma S., Song CS., Chen Y., Wang F., Chen HL. Hematite enhances the removal of Cr(VI) by *Bacillus subtilis* BSn5 from aquatic environment. *Chemosphere* 2018; 208, 579-585..
- Malaviya P., and Singh A. Bioremediation of chromium solutions and chromium containing wastewaters. *Critical Reviews in Microbiology* 2016; 42, 607-633.
- Martins SCS., Martins CM., Fiúza LMCG., Santaella ST. Immobilization of microbial cells: A promising tool for treatment of toxic pollutants in industrial wastewater. *African Journal of Biotechnology* 2013; 12, 28, 4412-4418.
- Medhi H., Chowdhury PR., Baruah PD., Bhattacharyya KG. Kinetics of aqueous Cu(II) biosorption onto *Thevetia peruviana* leaf powder. *ACS Omega* 2020; 5(23): 13489-13502.
- Mohan D. and Pittman CU. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water. *Journal of Hazardous Materials* 2006; 137(2): 762-811.
- Mohanty M. and Kumar HP. Effect of ionic and chelate assisted hexavalent chromium on mung bean seedlings (*Vigna Radiata* L. Wilczek. Var K-851) during seedling growth. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry* 2013; 9(2): 232-241.
- Mustafa HM., Hayder G. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article *Ain Shams Engineering Journal* 2021; 12(1): 355-365.
- Muszynska E., Hanus-Fajerska E. Why are heavy metal hyperaccumulating plants so amazing? *BioTechnolia Journal of Biotechnology, Computational Biology and Bionanotechnology* 2015; 96(4): 265-271.
- Njoya O., Shengxin Zhao S., Qu Y., Shen J., Wang B., Shi H., Chen Z. Performance and potential mechanism of Cr(VI) reduction and subsequent Cr(III) precipitation using sodium borohydride driven by oxalate. *Journal of Environmental Management* 2020; 275, 111165.
- Nyoja O., Zhao S., Qu Y., Shen J., Wang B., Shi H., Chen Z. Performance and M potential mechanism of Cr(VI) reduction and subsequent Cr(III) precipitation using sodium borohydride driven by oxalate. *Journal of Environmental Management Volume* 2020; 275, 111165.
- Ogunmayowa OT. Coupling bio/phytoremediation with switchgrass to biofuel feedstock production in mixed-contaminant soils. Tennessee State University PhD. Thesis, Nashville, TN, USA 2015.

- Ojuederie OB., Babalola OO. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. *International Journal of Environmental Research Public Health* 2017; 14, 1504.
- Pradhan D., Sukla LB., Sawyer M., Rahman PKSM. Recent bioreduction of hexavalent chromium in wastewater treatment: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2017; 55, 1-20.
- Priyadarshane M., Das S. Biosorption and removal of toxic heavy metals by metal tolerating bacteria for bioremediation of metal contamination: A comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2021; 9, 104686.
- Rahman MA., Reichman SM., De Filippis L., Sany SBT., Hasegawa H. Phytoremediation of toxic metals in soils and wetlands: Concepts and applications. *Environmental Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils* 2016; 8,161-195.
- Rahman Z., Thomas L. Chemical-Assisted Microbially Mediated Chromium Cr (VI) Reduction Under the Influence of Various Electron Donors, Redox Mediators, and Other Additives: An Outlook on Enhanced Cr(VI) Removal. *Frontiers in Microbiology* 2021; 11, 619766.
- Raman NM., Asokan S., Sundari NS., Ramasamy S. Bioremediation of chromium (VI) by *Stenotrophomonas maltophilia* isolated from tannery effluent. *International Journal Environmental Science Technology* 2018; 15(1): 207-216.
- Rayu S., Karpouzas DG., Singh BK. Emerging technologies in bioremediation: Constraints and opportunities. *Biodegradation* 2012; 23(6): 917-926.
- Rida B., Yrjälä K., Hasnain S. Hexavalent Chromium Reduction by Bacteria from Tannery Effluent. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 2012; 22(4): 547-554.
- Saranraj P. and Sujitha D. Microbial bioremediation of chromium in tannery effluent. A review: *International Journal of Microbiological Research* 2013; 4(3): 305-320.
- Sereshti H., Farahani MV., Baghdadi M. Trace determination of chromium(VI) in environmental water samples using innovative thermally reduced graphene (TRG) modified SiO₂ adsorbent for solid phase extraction and UV-vis spectrophotometry. *Talanta* 2016; 146, 662-669.
- Sharma A., Vishwakarma K., Singh NK., Prakasha V., Ramawat N., Prasad R., Sahi S., Singh VP., Tripathi DK., Sharma S. Synergistic action of silicon nanoparticles and indole acetic acid in alleviation of chromium (CrVI) toxicity in *Oryza sativa* seedlings. *Journal of Biotechnology* 2022; 343, 10, 71-82.
- Shekhar S., Sundaramanickam A., Vijayansiva G. Detoxification hexavalent chromium by potential chromate reducing bacteria isolated from tannery effluent. *American Journal of Research Communication* 2014; 2(2): 205-216.
- Tacıroğlu B., Kara EE., Sak T. Toprakta ağır metal gideriminde solucanların kullanımı. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 2016; 19(2): 201-207.

- Tak H.I., Ahmad F., Babalola O.O. Advances in the application of plant growth-promoting rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*; Whitacre, D.M., Ed.; Springer: New York, NY, USA. 2013; 223, 33-52.
- Taki K., Gogoi A., Mazumder P., Bhattacharya S.S., Kumar M. Efficacy of vermitechnology integration with Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and activated sludge for metal stabilization: A compliance study on fractionation and biosorption. *Journal of Environmental Management* 2019; 15, 236, 603-612.
- Tan H., Wang C., Zeng G., Luo Y., Li H., Xu H. Bioreduction and biosorption of Cr(VI) by a novel *Bacillus* sp. CRB-B1 strain. *Journal of Hazardous Materials* 2020; 386, 121628.
- Tayang A., Songachan, L.S. Microbial bioremediation of heavy metals. *Current Science* 2021; 120 (6).
- Torres E. Biosorption: A review of the latest advances. *Processes* 2020; 8, 1584.
- Tumolo M., Ancona V., De Paola D., Losacco D., Campanale C., Massarelli C., Uricchio V.F. Chromium pollution in European water, sources, health risk, and remediation strategies: An overview 2020; 17 (15): 1-25.
- Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı. Deri ve Deri Mamulleri Sektör Raporları 2016; Ankara. 1-10.
- United States Environmental Agency. Drinking Water Contaminants Standards and Regulations 2015; URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.epa.gov%2Fsafewater%2Fcontaminants%2Findex.html&date=2018-05-16> Son Erişim Tarihi 17/03/2018.
- Vaiopoulou E., Gikas P. Regulations for chromium emissions to the aquatic environment in Europe and elsewhere. *Chemosphere* 2020; 254, 126876.
- Vendruscolo F., Ferreira G.L.R., Filho N.R.A. Biosorption of hexavalent chromium by microorganisms. *International Biodeterioration and Biodegradation* 2017; 119, 87-95.
- Verma S., Kuila A. Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Environmental Technology & Innovation* 2019; 14, 100369.
- Vijayaraj A.S., Mohandass C., Joshi D., Rajput N. Effective bioremediation and toxicity assessment of tannery wastewaters treated with indigenous bacteria. *3 Biotech* 2018; 8:428.
- Wang X., Aulenta F., Puig S., Esteve-Núñez A., He Y., Mu Y., Rabaey, K. Microbial electrochemistry for bioremediation. *Environmental Science and Ecotechnology* 2020; 1:100013.
- Wang Y., Huang K. Biosorption of tungstate onto garlic peel loaded with Fe(III), Ce(III), and Ti(IV). *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27(27): 33692-33702.
- WHO. World Health Organization. Chromium in Drinking-Water 2003; Geneva, Switzerland.
- WHO. World Health Organization. Chromium in Drinking-Water, Draft Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality 2019; Geneva, Switzerland.
- Zahoor A. and Rehman A. Isolation of Cr(VI) reducing bacteria from industrial effluents and their potential use in bioremediation of chromium containing wastewater. *Journal of Environmental Science* 2009; 21, 814-20.

- Zaimee MZA., Sarjadi MS., Rahman ML. Heavy metals removal from water by efficient adsorbents. *Water* 2021; 13, 2659.
- Zhang J., Wang P., Zhang Z., Xiang P., Xia S. Biosorption characteristics of hg(II) from aqueous solution by the biopolymer from waste activated sludge. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17, 1488.
- Zheng Z., Li Y., Zhang X., Liu P., Ren J., Wu G., Zhang Y., Chen Y., Li X. A *Bacillus subtilis* strain can reduce hexavalent chromium to trivalent and an *nfrA* gene is involved. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2015; 97, 90-96.

Yenilebilir Böceklerin Sürdürülebilir Beslenme ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi

Meltem KUDRET^{1*}, Gülperi DEMİR²

¹T.C. Sağlık Bakanlığı, Ceyhan Sağlıklı Hayat Merkezi, Sağlıklı Beslenme ve Obezite Danışmanlığı Birimi, Adana

²Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Konya

¹ <https://orcid.org/0000-0002-0785-8849>

² <https://orcid.org/0000-0002-7362-3335>

*Sorumlu yazar: meltemkudret@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.10.2022

Kabul tarihi: 08.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Entomofaji

Besin

Alternatif protein kaynağı

ÖZ

Günümüzde insan nüfusunun artmasına paralel olarak gıda talebi artmış, bu durum az gelişmiş ülkeler başta olmak üzere yetersiz beslenme sorunlarına neden olmuştur. Gıda talebindeki küresel artış ve mevcut sınırlı arazi alanı, alternatif protein kaynakları arayışına yol açmıştır. Bu durumda alternatif bir gıda kaynağı olarak entomofajiye olan ilgi artmıştır. Yeni bir gıda kaynağı olarak böceklerin potansiyel kullanımı, sürdürülebilirlik ve besinsel avantajlara sahiptir. Yenilebilir böcekler, geleneksel et ile yaklaşık olarak aynı protein içeriğine sahip olup daha yüksek seviyelerde çoklu doymamış yağ asitleri ile çeşitli vitamin ve mineralleri içermektedir. Çeşitli hayvan çalışmalarının bulguları, entomofajinin kardiyovasküler, gastrointestinal ve diğer bulaşıcı olmayan hastalıkları önlemenin yanı sıra bağışıklık fonksiyonları ve karsinogenez açısından yararlı etkilerini ortaya koymuştur. Böceklerin birçok olumlu etkilerine rağmen potansiyel gıda güvenliği tehlikeleri de bulunmaktadır. Ayrıca; böcek tüketiminin yaygın olmadığı ülkelerde, böceklerle yemek hazırlama konusunda kabul ve beceri eksikliği görülmektedir. Bu sebeple böcek tüketimini teşvik etmek için bir dizi stratejiler önerilmektedir. Gıda Tarım Örgütü tarafından, güvenli koşullarda, yenilebilir böceklerin tüketiminin artırılmasının, doğal çevreyi olumlu yönde etkileyebileceği ve dünyadaki yetersiz beslenme sorununu azaltabileceğine dikkat çekilmektedir. Bununla birlikte bu alternatif gıda kaynağının etkinliğini, oral alım güvenliğini ve alerji riskini değerlendiren yüksek kaliteli klinik çalışmalara ve otoriteler aracılığıyla tüketim standartlarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu derlemenin amacı, entomofajinin alternatif bir gıda kaynağı olarak sürdürülebilir beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesidir.

Evaluation of Edible Insects in terms of Sustainable Nutrition and Health

Reviews

Article History:

Received: 06.10.2022

Accepted: 08.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Entomophagy

Nutrient

Alternative protein source

ABSTRACT

In parallel with the increase in the human population, the demand for food has increased, which has made the problems of malnutrition especially in underdeveloped countries today. The global increase in food demand and the limited land area available have led to the search for alternative protein sources. As a result of this search; in the future, entomophagy as an alternative food source has received serious attention. The potential use of insects as a new food source has many environmental and nutritional advantages and is seen as a sustainable source of animal protein. Edible insects have approximately the same protein content as conventional meat and contain higher levels of polyunsaturated fatty acids and various vitamins and minerals. The findings of various studies have demonstrated the beneficial effects of entomophagy in the prevention of cardiovascular,

gastrointestinal and other non-communicable diseases, as well as in immune functions and carcinogenesis. Despite the many positive effects of insects, there are potential food safety risks. Moreover, in countries where insect consumption is not traditional, there is a lack of acceptance and skill in preparing food with insects. For this reason, a number of strategies have been proposed to encourage insect consumption. It is pointed out by the Food and Agriculture Organization that increasing the consumption of edible insects under safe conditions can positively affect the natural environment and reduce the problem of malnutrition in the world. There is a need for high-quality clinical studies evaluating the efficacy, oral safety and allergy risk of this alternative food source and the development of consumption standards through authorities. The aim of this review is to evaluate entomophagy as an alternative food source in terms of sustainable nutrition and health.

To Cite: Kudret M., Demir G. Yenilebilir Böceklerin Sürdürülebilir Beslenme ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 1030-1051.

1. Giriş

Toplumu oluşturan bireylerin sağlıklı ve dinamik olarak yaşamasının, sosyal ve ekonomik açıdan gelişmesinin, yaşamını huzurlu ve güvence altında sürdürebilmesinin en temel koşulu yaşam boyu yeterli ve dengeli beslenmedir. Bireyin beslenme durumu, besinlerin üretiminden tüketimine kadar birçok faktörden etkilenmektedir. Sağlıklı ve aktif bir yaşam, gıda güvencesinin sağlanmasıyla mümkün olabilmektedir (Ersin ve Beyhan, 2001). Gıda güvencesi, Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından “tüm insanların, her zaman, aktif ve sağlıklı bir yaşam sürdürmeleri için gerekli olan yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya fiziksel, sosyal ve ekonomik bakımdan erişebilme durumu” olarak tanımlanmaktadır (FAO, 2021).

Son yıllarda; beslenme açısından yeterli gıda, sağlıklı ve güvenli gıdalara ulaşımın zorluğu, çeşitli hastalıklar vb. sorunlar, çalışmaların gıda güvencesi üzerine odaklanmasına yol açmıştır. Yeterli küresel gıda arzına rağmen 2019'da tahmini 690 milyon insanın kronik yetersiz beslenmeyle karşı karşıya kaldığı bildirilmektedir (FAO, 2021). Yetersiz beslenmenin en yaygın türü protein ve/veya enerji yetersizliğidir. Dünya nüfusunun %11'inin açlıktan öldüğü, iki milyarının mikro besin eksikliklerinden etkilendiği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla; birey ve toplum sağlığının korunmasında yetersiz beslenmenin önemli bir sorun olduğu görülmektedir. Yetersiz beslenme, dünya çapında başlıca ölüm nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, özellikle protein açısından zengin bileşime sahip gıda kaynaklarının yetersiz beslenme sonucu oluşabilecek çeşitli sorunlara çözüm olabileceği belirtilmektedir (FAO, 2017).

Hızlı küresel nüfus artışı ve artan hayvansal kaynaklı protein talebi nedeniyle gıda güvencesi açısından önümüzdeki yıllarda ciddi sorunlar oluşabileceği belirtilmektedir (Orkus, 2021). Küresel nüfus artışı, gezegenin tarım arazilerinin ve tatlı su gibi sınırlı kaynaklarının toplumun gıda ihtiyacını karşılamada yeterli olup olmayacağına dair endişelerin artmasına yol açmıştır. Bu tür gıda güvencesi endişeleri, araştırmaları çeşitli alanlara yöneltmiştir (FAO, 2021). Artan nüfusun gıda talebini karşılamak için mevcut gıda üretiminin iki katına çıkarılması gerekmekte, bu da çevre dostu ve sürdürülebilir gıda üretim yöntemlerinin ve besin değeri yüksek gıda kaynaklarının bulunmasını gerektirmektedir (Research ve Markets, 2019). Bu süreçte hem dünya çapında artan demografik eğilimler nedeniyle

artan gıda talebini karşılamak, hem de en gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan yeni gıda eğilimlerini çeşitlendirmek amacıyla alternatif gıda kaynaklarına ciddi bir yönelme olmuştur. Günümüzde birçok araştırmacı, küresel gıda ihtiyaçlarını karşılayabilecek sürdürülebilir besin kaynaklarından biri olan böcekleri ele almaktadır (Pippinato ve ark., 2020).

Entomofaji, yenilebilir böcekleri insan tarafından bir besin olarak tüketme durumu olup (Haldhar ve ark., 2021) dünyanın birçok yerinde binlerce yıldır var olmuştur. Böcek tüketimi geleneği olan kültürlerde, böcekler beslenmenin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Yenilebilir böcekler, yüksek besin değeri ile beslenme ihtiyacını karşılayabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca yenilebilir böceklerin gıda olarak kullanılmaları, geleneksel et ve diğer besin kaynaklarına göre ekolojik avantajlara sahip olması nedeniyle iyi bir çözüm kaynağı olarak görülmektedir (Research ve Markets, 2019). Yenilebilir böcekler genellikle Kuzey Amerikalı tüketiciler arasında artan popüleriteye sahip olduğundan geleneksel çiftlik hayvanlarına besleyici, protein açısından zengin, çevresel açıdan sürdürülebilir bir alternatiftir. İnsanlar için protein kaynağı olarak kabul edilen yenilebilir böceklerin besleyici özelliklerinin yanı sıra antihertansif, antioksidatif, antimikrobiyel, antiinflamatuvar, antiobezite, hipolipidemik ve anti-hepatik steatoz etkileri, sağlık üzerine yararlı olma potansiyelini de göstermektedir (Lange ve Nakamura, 2021).

Yenilebilir böceklerin insan beslenmesinde yer almasının avantajlarına rağmen, daha geniş tüketimin önünde engeller bulunmaktadır. Bu engeller arasında potansiyel gıda güvenliği tehlikeleri ile olumsuz tüketici algısı yer almaktadır. Bu engellere bağlı olarak böceklerin kirlilik, yoksulluk ve hastalıklar gibi bazı kötü çağrışımlar oluşturduğu belirtilmektedir (Looy ve ark., 2014; Raheem ve ark., 2019). Bu çağrışımlar insanlar tarafından, böceklerin tüketiminin azalmasına ve genellikle kültürel olarak uygunsuz ve hatta tabu olarak görülmesine neden olmaktadır (Kouřimská ve Adámková, 2016). Fakat tüketicileri böcek yemeye ikna etmek için duyuşal özelliklerin geliştirilmesi, çevre ve sağlık açısından faydalarından bahsedilmesi gibi çeşitli stratejiler önerilmiştir. Bu stratejiler sayesinde yenilebilir böceklere ilgi ile bunları tüketme konusunda artan motivasyon, bireylerde böcek yeme konusunda tutum değişikliği yaratmıştır (Verneau ve ark., 2016).

Bu derlemede, entomofajinin alternatif bir gıda kaynağı olarak sürdürülebilir beslenme ve sağlık açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Entomofajinin Tanımı

Entomofaji (*entomophagy*) “*entomo*” (böcek) ve “*phagein*” (yemek) kelimelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş Yunanca kökenli bir kelimedir. Kısaca yenilebilir böcek olarak tanımlanan entomofaji, aslında yeni bir kavram değildir. Tarihte, av araçlarının bulunmadığı, tarımın gelişmediği dönemlerde; insanların açlıklarını giderebilmek için çeşitli böcek türlerini tükettiği bilinmektedir (Kaymaz ve Ulema, 2020). Böcekler, gezegendeki en çok çeşide sahip hayvan gruplarından birisi olup gezegenin neredeyse tüm karasal ve su ekosistemlerinde yaşamakta ve toplam hayvan biyokütlesinin yaklaşık yarısını oluşturmaktadırlar (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021). Bilinen yenilebilir

böcek türlerinin %92'si yabancı olarak hasat edilmekte, %6'sı yarı evcil ve %2'si çiftlikte yetiştirilmektedir (FAO, 2021).

Günümüzde, dünya çapında yaygın olarak tüketilen böcek türlerinin bazıları bilinmekte ve tüketilen böceklerin miktarını tahmin etmek için henüz yeterli veri bulunmamaktadır (FAO, 2021). Entomofaji, dünya çapında yüzyılı aşkın süreçte yaklaşık 113 ülkede varlığını sürdürmektedir. Böcek tüketimi ağırlıklı olarak Asya, Afrika ve Latin Amerika'nın bazı bölgelerinde mevcuttur (Rumpold ve Schlüter, 2013). Yenilebilir olarak kabul edilen yaklaşık 2500 böcek türü olduğu tahmin edilmektedir (Van Huis, 2016). Küresel olarak, en yaygın tüketilen böceklerden ilki kın kanatlılar (*Coleoptera*-%31), ikinci en çok tüketilen Sahra altı Afrika'da oldukça popüler olan tırtıllardır (*Lepidoptera*-%18). Eşek arısı, karıncalar ve arılar (*Hymenoptera*-%14) Latin Amerika'da en fazla yenilen üçüncü türdür. Ardından çekirge, cırcır böceği ve hamam böceği (*Orthoptera*-%13) ve tarla kriketi (yaygın adı: “*chapuline*”) gelmektedir (Anankware ve ark., 2015). Tüketilen diğer yenilebilir böcekler ise; ağustos böcekleri, yaprak böceği, bitki hunisi, ölçek böcekleri ve gerçek böcekler (*Hemiptera*-%10), termitler (*Isoptera*-%3), yusufoçuklar (*Odonata*-%3), sinekler (*Diptera*-%2) ve diğerleri (%5) şeklinde sıralanmaktadır (Van Huis ve ark., 2013).

3. Sürdürülebilir Beslenme Açısından Yenilebilir Böcekler

Doğada böcekler; su, orman ve tarım ekosistemleri arasında dağılmış önemli bir biyokütle kaynağıdır. Böcekler, büyük ölçüde her kıtada bulunabilmekte ve Antarktika hariç tüm kıtalarda insanlar tarafından tüketildiği tarihsel kayıtlarda yer almaktadır (de Carvalho ve ark., 2020). Böceklerin seri üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca et veya balık gibi diğer gıda kaynaklarına alternatif besleyici özelliğe sahip olup vücudun protein ihtiyacını karşılayabilmektedir (de Carvalho ve ark., 2020).

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yenilebilir böcekler, sığır eti veya domuz eti gibi diğer hayvansal protein kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, böceklerin sürdürülebilir bir protein kaynağı olduğu belirtilmiştir (FAO, 2013). Bu sebeple Gıda ve Tarım Örgütü güvenli koşullar altındaki böceklerin tüketimini teşvik etmektedir (FAO, 2013). Böceklerin sürdürülebilir bir gıda kaynağı olarak benimsenmesi, insan sağlığı, çevresel faktörler ve sosyo-ekonomik fayda olmak üzere üç nedene dayandırılmaktadır (Govorushko, 2019). Sığır eti, domuz eti, tavuk ve balık gibi besinlerle kıyaslandığında sağlıklı ve besleyici bir alternatif olmaları, protein, yağ, çinko, demir, kalsiyum gibi makro ve mikro besin öğeleri bakımından zengin olmaları sağlık açısından önemlidir. Çevresel faydalar ise şunları içermektedir: (a) böceklerin belirli sera gazı (GHG) emisyonlarının, diğer çiftlik hayvanlarının çoğundan çok daha az olması (örneğin metan, termitler ve hamamböceği gibi yalnızca bazı böcek grupları tarafından üretilir); (b) böcek yetiştiriciliğinin, çiftlik hayvanlarından çok daha az toprak ve su gerektirmesi ve bunun yanında üretimin genişletilmesi için toprak temizliğinin gerektirmemesi; (c) böcek yetiştirmeyle bağlantılı amonyak emisyonlarının hayvancılıktan daha düşük olması; (d) böceklerin soğukkanlı hayvanlar olmalarının, yiyecekleri proteine dönüştürmedeki etkinliklerinin çok yüksek olması; (e) böceklerin kendi organik akıntılarıyla beslenebilmeleridir.

Böceklerin hasadının ve yetiştirilmesinin toplumun en fakir kesimlerine kolaylıkla girebilen düşük sermayeli ve düşük teknolojiyi yatırım olması ise böceklerin sosyo-ekonomik faydalarındandır (Van Huis ve ark., 2013; Sun-Waterhouse ve ark., 2016).

Yenilebilir böceklerin gıda üretiminde kullanılmasıyla iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak mümkündür. Böcekler, geleneksel çiftlik hayvanlarına (örneğin tavuklar, domuzlar ve sığırlar) göre çok daha az sera gazı üretmekte, çok daha az arazi ve su gerektirmektedir (Orkus, 2021). Örneğin domuzlar, yemek kurtlarından 10 ila 100 kat daha fazla GHG (sera gazı) üretmektedirler (FAO, 2013). Bu durum böceklerin ekolojik sisteminde sürdürülebilir özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bunlarla birlikte böcekler, diğer hayvanlara göre daha fazla besleyici özellik taşımakta olup aynı miktarda protein üretmede daha yüksek gıda dönüşüm oranına sahiptir. Örneğin, cırcır böcekleri sığırlardan 6 kat, koyunlardan 4 kat daha az ve domuz ve broilerin (etlik tavuklar) yarısı kadar yeme ihtiyaç duymaktadır (Van Huis ve ark., 2013; Orkus, 2021). Bir başka örnek olarak kriketlerin, 1 kg vücut ağırlığı kazanmak için sadece 2 kilogram yeme ihtiyaç duydukları belirtilmektedir. Aynı zamanda böceklerin, insanlara, hayvanlara ve yabani hayvanlara zoonotik enfeksiyonlar iletme riskinin daha az olduğu da belirtilmektedir (Van Huis ve ark., 2013). Ayrıca birçok böcek, insan tüketimi veya tarımsal yan ürünler için uygun olmayan bitki materyallerini gıda maddesi olarak kullanmaktadır. Bu nedenle insanların tükettiği gıdaları tüketen inekler, tavuklar ve domuzlar ile rekabete girmemektedirler. Böceklerin büyümesinin büyük hayvanlardan çok daha kolay ve daha kısa sürede olmasının yanı sıra yüksek doğurganlık oranları da sürdürülebilir bir protein kaynağı olması açısından oldukça önemlidir (Baş Aksoy ve Nehir El, 2021). Yenilebilir böcekler aynı zamanda pestisit kullanımını azaltmada da yardımcıdır. Zararlı olarak kabul edilen yenilebilir böceklerin toplanması, insektisit kullanımının azalmasına katkıda bulunabilmektedir. Ayrıca, bitki yetiştirmeye kıyasla böcek toplamanın ekonomik faydaları da dikkate alınmalıdır. Örneğin; Meksika'da insan tüketimi için böceklerin toplanmasının, tarımsal ürün üretimindeki pestisit miktarı ile çiftçiler üzerindeki mali yükün azalmasını sağlamıştır (Kouřimská ve Adámková, 2016).

4. Yenilebilir Böceklerin Besin Değeri ve Sağlık Üzerine Potansiyel Etkileri

4.1. Yenilebilir Böceklerin Besin Değeri

Böcekler, günümüzde, protein başta olmak üzere yüksek besleyici özellikleri nedeniyle artan gıda talebini karşılamada iyi bir seçenek olarak ilgi görmektedir. Böceklerde bulunan temel besin ögesi protein (%13-77) ve yağ (%1,5-77) olup bunu vitamin ve mineraller, lif ve karbonhidratlar izlemektedir (Ayensu ve ark., 2018). Besin ögesi içeriği, böceklerin türüne, beslenme biçimine, işleme proseslerine (kurutma, kızartma ve kaynatma), yaşam alanına (sıcaklık, nem ve fotoperiyot) ve metamorfoz aşamalarına (yumurta, larva, pupa, yetişkin) bağlı olarak değişebilmektedir (Huis, 2016; Ahn ve ark., 2021).

Yenilebilir böceklerin enerji değeri, böcek türleri arasında değişkenlik gösterebilmektedir. *Coleopteran* ve *Lepidopteran* türleri daha fazla enerji değerine sahiptir (Ramos-Elorduy, 2008).

Bunlarla birlikte larva veya pupa, yetişkinlere kıyasla genellikle enerji bakımından daha zengindir. Bu durumun tam tersi, yüksek proteinli böcek türleri daha düşük enerji içeriğine sahiptir (Kouřimská ve Adámková, 2016). Böcek türüne ve toplandığı coğrafi konuma bağlı olarak 100 g kuru madde başına 217 ile 777 kkal/100 g arasında enerji vermektedirler. Bu değer aynı gramaj hayvansal besinler için 165-705 kkal/100 g'a ve sebzeler için 308-352 kkal/100 g'a karşılık gelmektedir (Ramos-Elorduy, 2008). Nijerya'da tırtıllar 611 kkal içeriyorken termitlerin (akkarıncalar) 761 kkal değerine sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebeple tırtıllar ve termitler, çikolatadan yaklaşık 2 kat, domuz sucuğundan 3 kat, jambondan 6 kat, elmadan 15 kat daha fazla enerji içermektedir (Cerritos, 2009).

Proteinler, yenilebilir böceklerin besin bileşiminin ana bileşenlerini temsil etmektedir (Ayensu ve ark., 2018). Böceklerden elde edilen protein içeriği genellikle iyi kalitede olup yüksek oranda sindirilebilmektedir (yumurta proteininden biraz daha az, ancak bitki bazlı proteinden daha fazla sindirilebilir) (Finke, 2015; de Carvalho ve ark., 2020). Yenilebilir böceklerin kuru bazda protein içeriği, *Hemiptera* için 33-65 g/100 g ile *Orthoptera* için 13-77 g/100 g arasında değişmektedir (de Castro ve ark., 2018). Genel olarak, *Orthoptera* takımından yenilebilir böcek türleri protein açısından çok zengindir. Çekirgelerin kuru ağırlığının yaklaşık %77'i kadar protein içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Ayensu ve ark., 2018). Örnek olarak, evcil kriket (*Acheta domestica*), sarı kanatlı çekirge (*Arphia fallax*) ve yetişkin kırmızı bacaklı çekirge (*Melanoplus femurrubrum*) için kuru kütledeki protein yüzdeleri sırasıyla %64,10, %71,30 ve %77'dir (Finke, 2015). Bir başka örnekte, çeşitli böcek takımlarının ham protein içeriği, kuru maddenin %13 ile %77'si arasında belirlenirken, ortalama protein içeriğinin 7 ile 48g/100 g taze ağırlık arasında olduğu rapor edilmiştir (EFSA Scientific Committee, 2015).

Yenilebilir böceklerin protein içeriği tür, pişirme yöntemi, yem ve metamorfoz aşaması gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (FAO, 2013). Örneğin, Nijerya'da yüksek düzeyde esansiyel yağ asitleri içeren kepekle beslenen çekirgelerin protein içeriği, mısırla beslenenlerin iki katı olduğu saptanmıştır (Ademolu ve Idowu, 2010). Son araştırmalarda, 50 g *Eulepida Mashona* (böcek) ve *Henicus Whellani* (kriket) tüketiminin, önerilen günlük proteinin ortalama %30'una katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Raheem ve ark., 2019). Böceklerden alınan proteinin sindirilebilirliği oldukça değişkendir. Çünkü kısmen kütiküler proteindeki aminoasitin bir kısmı, bir polisakarit ve böceklerin dış iskeletinin bileşeni olan kitine bağlıdır (Huis, 2016). Yapılan bir in vitro çalışmada, un kurdu (*Tenebrio molitor*) proteinin protein sindirilirliğinin %75,7, cırcır böceği (*Grylodes sigillatus*) proteinin ise %76,2, olduğu saptanmıştır (Stone ve ark., 2019).

Yenilebilir böceklerin çoğu, insan beslenmesinde yeterli enerji ve protein alımıyla birlikte aminoasit gereksinimlerini de karşılayabilmektedir (Muslu, 2020). Sindirilebilirliğin yanı sıra amino asit içeriği protein kalitesini belirlemektedir (EFSA Scientific Committee, 2015). Böceklerdeki esansiyel amino asit miktarı, tüm amino asitlerin %10-30'u kadardır (de Carvalho ve ark., 2020). Yenilebilir böceklerin aminoasit bileşimi türler ve takımlar arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, yenilebilir böceklerin çoğunun amino asit bileşimi, insan beslenmesi için gerekli olan

temel amino asitleri yeterli düzeyde sağlamaktadır (WHO, 2007). Fenilalanin, tirozin, triptofan, lizin ve treonin için amino asit değerlerinin yüksek olduğu belirtilmiştir (Rumpold ve Schlüter, 2013). Ogbuagu ve Emodi (2014)'nin çalışmasında palmye biti larvalarında lösin, izolösin, fenilalanin ve tirozin gibi esansiyel amino asitlerin seviyesinin FAO'nun referans standart değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Yenilebilir böceklerin proteinden sonra ikinci diğer önemli besin bileşeni lipittir (%1,5-77) (Aguilar, 2021). Lipit düzeyi böceğin yaşam evresine bağlı olarak böceklerin kuru ağırlığının %4'ü (sivrisinek yumurtaları) ile %77'sini (*güve Phassus triangularis*) oluşturmaktadırlar. Genel olarak böceklerin lipit içeriği larva evrelerinde yetişkin evrelerine göre daha yüksektir, çünkü yetişkinler genellikle %80 trigliserit ve %20'den az fosfolipit içermektedir. Ek olarak, böcekler doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri dahil olmak üzere yüksek besin değerine sahip yağ asitlerini içermektedir. Bunlar, insan sağlığına olumlu etkisi olan oleik, linoleik, α -linolenik, laurik ve palmitik asitleri içermektedir. Örnek olarak, *Hymenopteran* böcekleri bileşimlerinde türe bağlı olarak yaklaşık %30 doymuş, %48 tekli doymamış ve %15 çoklu doymamış yağ asitleri içermektedir (EFSA Scientific Committee, 2015; Kouřimská ve Adámková, 2016).

Yenilebilir böceklerdeki vitaminler ve mineraller, böceklerin beslenmesine bağlı olarak yüksek veya düşük miktarlarda bulunmaktadır. Ev sineği larvaları dışında, çoğu böceğin sodyum ve potasyum içeriği düşük, fosfor, magnezyum, kalsiyum, çinko, demir, selenyum, manganez ve bakır içeriği yüksektir. Örneğin, Afrika güvesi (*Anaphe venata*) her 100 g kuru ağırlık için 40 mg kalsiyum, 1150 mg potasyum, 50 mg magnezyum, 730 mg fosfor, 30 mg sodyum, 10 mg demir ve çinko, 40 mg manganez ve 1 mg bakır içermektedir. Vitamin içeriği bakımından böcekler etkin riboflavin, pantotenik asit ve biotin kaynağı olup A, C ve E vitaminleri bakımından yetersizdir (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021). Sirimungkararat ve ark. (2010)'nın yapmış olduğu bir çalışmada, böceklerin sığır, domuz ve tavuktan daha fazla demir ve çinko içerdiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, Paoletti ve ark. (2003)'nin çalışmasında, solucandaki kalsiyum düzeyinin taze peynirin kalsiyum içeriğiyle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu ve geleneksel etteki kalsiyum içeriğinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Mineral içeriği bakımından da, yenilebilir böceklerin ve etin besin değerini karşılaştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada, böceklerin, türü ve gelişim şekli ne olursa olsun, etten daha yüksek kalsiyum, çinko, bakır ve manganez içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Orkusz, 2021). Etin hem pigmentleri yönünden zengin olup miyogloblin ve hemoglobinden elde edilen, kolayca sindirilebilir demirin temel bir kaynağı olduğu iyi bilinmektedir. Yapılmış çalışmalara göre, büyük hayvan etleri (dana filetosu, at eti vb), kanatlı etlerinden (0,4-1,3 mg/100 g) daha fazla demir (3,1-3,5 mg/100 g) içermektedir. Böcek türleri arasında ise en düşük demir içeriği *Zophobas morio* larvalarında (1,99 mg/100 g), en yüksek ise *Gonimbrasia belina* larvalarında (51,05 mg/100 g) bulunmuştur (Finke, 2015; Nowak ve ark., 2016; Payne ve ark., 2016; Lategan, 2019; Orkusz, 2021). Dolayısıyla, böceklerin sığır eti de dahil olmak üzere diğer protein kaynaklarına kıyasla daha iyi ve biyoyararlılığı daha yüksek demir kaynağı olabileceği belirtilmektedir (Baş Aksoy ve Nehir El, 2021).

Yenilebilir böceklerin vitamin içeriği de, minerallerde olduğu gibi, böceklerin beslenmesinden etkilenmektedir (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021). Yetişkinler için önerilen riboflavin, pantotenik asit ve biotin gibi vitamin gereksinimlerinin yenilebilir böceklerde yüksek düzeyde olduğu belirtilmektedir. Bunlarla birlikte *Orthoptera* takımı (çekirge, cırcır böceği ve hamam böceği) ve *Coleoptera* takımının (böcekler ve larvaları) yenilebilir böcekleri folik asit açısından zengindir (Rumpold ve Schlüter, 2013). Bununla birlikte; böceklerin genel olarak A, C, E vitamini, niasin ve tiamin için yeterli kaynaklar olmadığı da belirtilmektedir (Ayensu ve ark., 2018). Yenilebilir böceklerin ve etin besin değerini karşılaştırmak amacıyla yapılan çalışmalarda, hem böceklerdeki hem de etteki vitamin içeriğinin önemli ölçüde değiştiği belirtilmiştir (Orkusz, 2021). Çalışmalarda analiz edilen böcek ve et türleri arasında domuz eti (0,49 mg/100 g), *Gryllus bimaculatus* (0,36 mg/100 g) ve *Bombyx mori* (0,33 mg/100 g) türünden böceklerin en yüksek tiamin içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, tavşan ve kümes hayvanlarının karkasları ve böcekler dahil olmak üzere diğer et türlerinde daha düşük tiamin içeriği gözlenmiştir. Tiamin içeriği ette 0,02-0,49 mg/100 g ve böceklerde 0,04-0,36 mg/100 g aralığında saptanmıştır. Böcekler, türü ve gelişme şekli ne olursa olsun, etten daha yüksek tokoferol, riboflavin ve C vitamini içeriği ile karakterize edilmiştir. Hem böcekler hem de et kaliteli niasin kaynağı olmasına rağmen tavuk göğsü en yüksek niasin içeriğe (12,44 mg/100 g) sahiptir (Finke, 2015; Payne ve ark., 2016; Orkusz, 2021).

Etler, kobalamin içeriği bakımından oldukça zengindir. Kobalamin, amino asit metabolizmasına katılımı nedeniyle proteinlerin biyolojik değerinin düzenleyicisi olarak kabul edilmektedir. İyi bir kobalamin kaynağı olan tavşan karkasında kobalamin miktarı 7,90g/100 g iken at etinde 3,10 g/100 g, hindi but, dana but ve dana bonfilede daha az miktarda (1,03–1,70 g/100 g düzeyinde) bulunmaktadır. Kobalaminin en fakir kaynaklarının (0,12-0,13 g/100 g düzeyinde) su kuşları karkasları olduğu belirtilmiştir. Böceklerdeki kobalamin içeriği ise 0,01 g/100 g (*Bombyx mori*) ile 0,99 g/100 g (*Zophobas morio*) arasında değişmektedir (Finke, 2015; Payne ve ark., 2016; Baş Aksoy ve Nehir El, 2021; Orkusz, 2021).

Böceklerde karbonhidratlar esas olarak kitin formunda bulunmaktadır (Govorushko, 2019; Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021). Bir poli-beta-1,4-N-asetilglukozamin olan kitin, suda çözünmez ve biyoküttele selülozdan sonra en bol bulunan ikinci polisakkarittir ve eklem bacaklıların dış iskeletinin ana bileşenidir. Karbonun yanı sıra bir nitrojen kaynağı da olabilmektedir (de Carvalho ve ark., 2020). Kitin nitrojen içeriğinden nitrojen ölçümlerine dayalı protein tahminlerini etkilemektedir (Raheem ve ark., 2019). Diyet lifi olarak kabul edilen kitin böceklerde kuru ağırlığın %5-20'sini oluşturmaktadır (Govorushko, 2019; Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021). Yenilebilir böceklerdeki karbonhidrat içeriği kalkan böceğinde %6,71'den ağustos böceklerinde %15,98'e kadar değişmektedir (Govorushko, 2019). Bednářová (2013)'nın çalışmasında yenilebilir 7 farklı böcek türündeki lif miktarı analiz edilmiş ve Afrika göçmen çekirgesi en yüksek içeriğe sahipken, Jamaika tarla kriketinin en az lif içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

4.2. Yenilebilir Böceklerin Sağlık Üzerine Potansiyel Etkileri

Böceklerde bulunan kitin ve deasile edilmiş formu kitosan, potansiyel olarak yara iyileşmesi, kolon ve kardiyovasküler sağlık, kolesterol düzeyini azaltma ve doğuştan gelen ve adaptif bağışıklık tepkileri üzerinde faydalı etkiler sağlayan fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kabul edilebilmektedir (Lange ve Nakamura, 2021). Kitin, besinsel, sağlık ve tıbbi değeri yüksek, düşük kalorili bir gıda formu olarak tüketilebilmektedir. Ayrıca insan bağırsağı mikrobiyotasındaki önemli bakteri popülasyonlarının seçici büyümesini de teşvik edebilmektedir (de Carvalho ve ark., 2020). Cırcır böceklerinde bol miktarda bulunan kitin ve kitosanın bağırsaklarda bulunan patojenik mikroorganizmaları baskılayarak bağışıklık sistemini desteklediği ve bu özelliğinin prebiyotik etkisinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Baş Aksoy ve Nehir El, 2021). Kitin ayrıca organizmaların bazı paraziter enfeksiyonlara ve allerjik durumlara karşı savunması ile de ilişkilendirilmektedir (Kouřimská ve Adámková, 2016). Bir başka çalışmada kitinin tümörigeneze karşı antiviral olarak aktif olduğu bildirmiştir (Lee ve ark., 2008). Bununla birlikte, tüketimden önce kitinin böceklerden uzaklaştırılması, diyet proteinlerinin kalitesini ve biyoyararlanımını iyileştirebileceği de belirtilmektedir. Örneğin, arıların protein sindirilebilirliği kitin varlığında %71,5 iken kitin yokluğunda %94,3 olduğu belirtilmiştir (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021).

Böcekler, sığır eti, balık ve kümes hayvanları gibi diğer protein kaynaklarıyla karşılaştırıldığında yüksek yağ, protein, vitamin, lif ve mineral içeriği ile son derece besleyici ve sağlıklı bir besin kaynağıdır (Ayensu ve ark., 2018). Böcekler mikro besin eksikliklerini önleyebilmekte ve kardiyovasküler hastalık, diyabet ve kanser gibi kronik hastalıkların yönetiminde rol oynayabilmektedir (Lange ve Nakamura, 2021). Ayrıca; kriket unu glüten içermemesi nedeniyle, çölyak hastalığı veya glüten intoleransı olan kişiler için alternatif protein kaynağı olarak önerilmektedir (Kowalczewski ve ark., 2019). Bunun yanı sıra; böcekler, mikro besin ögesi yetersizliklerinin giderilmesi için gıda zenginleştirme programlarında da kullanılmaktadır. Demir eksikliği anemisi başta olmak üzere, bebeklerde ve çocuklarda yetersiz beslenmeyi tedavi etmek ve önlemek için, eklembacklıları içeren ürünlerin eklenmesiyle güçlendirilmiş harmanlanmış gıda ürünleri önerilmektedir (Michaelsen ve ark., 2009). Bu ürünler için Kamboçya'da örümcekler (Skau ve ark., 2015), Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nde tırtıllar (Bauserman ve ark., 2015) ve Kenya'da cırcır böcekleri ve termitler (Konyole ve ark., 2012) kullanılmaktadır. Vejetaryenler açısından bakıldığında, böceklerin çevresel açıdan sürdürülebilir bir besin olması bir ihtimalde olsa tüketilebilirlik açısından kabul edilebilir bir hayvansal protein kaynağı olarak algılanabileceği belirtilmektedir (Ruby ve Rozin, 2019).

Çeşitli in vitro ve in vivo hayvan çalışmalarında, entomofajinin kardiyovasküler, gastrointestinal ve bulaşıcı olmayan hastalıkların yanı sıra bağışıklık fonksiyonları ve karsinogenez ile ilgili olarak faydalı etkileri ortaya konmuştur (Lange ve Nakamura, 2021). İnsanlarda, randomize kontrollü çalışmalardan elde edilen mevcut kanıtlar, bazı prebiyotik etkilerle birlikte, mineral düzeylerinin arttırılmasında ve bağırsak mikrobiyotasının modülasyonunda yenilebilir böceklerin rolünü ortaya

koymuştur (Stull ve ark., 2018). Sağlık yararlarıyla ilgili yapılan in vitro çalışmalarda yenilebilir böceklerin hipertansiyon tedavisi ile ilgili anjiyotensin dönüştürücü (ACE) enzim inhibitör aktivitesi, antioksidan ve antikanserojenik etkileri, in vivo çalışmalarda hipolipidemik, antiobezite, anti-hepatik steatoz, bağırsak mikrobiyotasında etkili oldukları, bunlarla birlikte sağlık süresi ve yaşam süresinin arttığı gözlenmiştir (Ahn ve ark., 2000; Mentang ve ark., 2011; Nguyen ve ark., 2016; Cito ve ark., 2017; Seo ve ark., 2017; Hong ve ark., 2018; Stull ve ark., 2018; Lange ve Nakamura, 2021). Yapılan bazı çalışmalarda, hipertansiyon tedavisinde çeşitli böcek türlerinden (*Coleoptera*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Lepidoptera* ve *Orthoptera*) elde edilen peptitlerin protein hidrolizatlarında ACE inhibitör aktivitesi tespit edilmiştir (Vercruyssen ve ark., 2005; Staljanssens ve ark., 2011; Dai ve ark., 2013; Cito ve ark., 2017). Di Mattia ve ark., (2019)'nın yapmış olduğu bir çalışmada, birkaç böcek türünden (Cırcır böcekleri, çekirgeler, ipekböcekleri, Afrika tırtılları ve akşam ağustos böcekleri) elde edilen su ve yağda çözünen böcek ekstraktların antioksidan kapasitelerinin portakal suyu ve zeytinyağından 2-3 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bir başka çalışmada, böceklerde ve ayrıca ham böcek türevli ekstraktlarda bulunan çeşitli proteinlerin, peptitlerin (Slocinska ve ark., 2008) ve alkaloidlerin (Pettit ve ark., 2005) potansiyel antikanser aktivite etkisinin olduğu belirlenmiştir (Ahn ve ark., 2000). Mentang ve ark., (2011)'nin Omega-3 a-linolenik asit bakımından zengin ipekböceği krizalit yağının Wistar sıçanlarında lipid metabolizması üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada da, hiperlipidemi ve hiperglisemide iyileşme olduğu gözlenmiştir. Ayrıca ipekböceği krizalit yağının faydalı bir lipid kaynağı ve balık yağlarına alternatif olabileceği de belirtilmiştir. Sıçanlarda larva derisinin kitosanından oluşturulan kitoooligosakkaritlerin, toplam kolesterol, plazma düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL-C) ve plazma triaçilgliserol seviyelerinde azalmalara yol açtığı gözlenmiştir (*Clinis bilineata*) (Xia ve ark., 2013). Yüksek yağlı bir diyetle beslenen obez farelerde, Sarı yemek kurdu (*T. Molitor*) larva tozunun günlük oral uygulanmasının ardından vücut ağırlığı artışının azaldığı saptanmıştır (Seo ve ark., 2017). Bir başka çalışmada ise, ev kriket ve sarı yemek kurdu özlerinin tatbik edilmesini takiben diyet lipidlerinin sindirimi ile ilgili lipaz aktivitesinin inhibisyonu gözlenmiştir (Navarro Del Hierro ve ark., 2020). Hong ve ark., (2018)'nin bir çalışmasında ipekböceği larva tozunun hepatik steatoz ve lipid metabolizması üzerindeki koruyucu etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ipek böceği larva tozunun yağ asidi β -oksidasyonunu yükselttiği, yağ asitlerinin *de novo* sentezini azalttığı ve oksidatif stresi ve inflamatuvar yanıtı inhibe ettiği gözlenmiştir. Ayrıca etanol ile tedavi edilen sıçanlarda hepatik steatoz ve yaralanma ile ilgili önleyici etkileri olduğu da belirtilmiştir. Güvenlik ve tolere edilebilirlik açısından 25 gram/gün bütün kriket tozu tüketiminin bağırsak mikrobiyotası üzerine etkilerin incelendiği bir çalışmada, Probiyotik bakteri *Bifidobacterium animalis*'in büyümesini desteklediği ve insanlarda tam kriket tozu tüketimlerinin ardından plazma TNF- α 'sında azalmalar olduğu belirtilmiştir. Bu veriler, cırcır böceği yemenin bağırsak sağlığını iyileştirdiği ve sistemik inflamasyonu azaltabileceğini de düşündürmüştür (Stull ve ark., 2018). Çeşitli fonksiyonel besinlerle zenginleştirilmiş olgun ipek böceği larvalarının sağlığa faydalarının incelendiği bir çalışmada, haşlanmış ve dondurularak kurutulmuş olgun

ipekböceği larva tozu içeren yiyecekler üzerinde yetiştirilen *Drosophila*'nın, normal yiyecek sineklerine kıyasla daha uzun bir ömre sahip olduğu gözlenmiştir. *Drosophila* (sinek) ile beslenen olgun ipekböceği larva tozunun sağlık süresi ve yaşam süresini arttırdığı da belirtilmiştir (Nguyen ve ark., 2016).

Bununla birlikte böcekler, protein ve yağ gibi değerli bir besin kaynağı ve ayrıca biyoaktif bileşikler (örneğin, çoklu doymamış yağ asitleri, flavonoidler ve antioksidatif kapasiteye sahip diğer tanımlanmamış bileşikler) açısından önemli bir kaynak gibi görünse de, bazı türlerin tanenler ve fitik asit gibi besleyici olmayan bileşikleri de içerdiği gözlenmiştir (ANSES, 2015).

5. Besin Güvenliği Açısından Yenilebilir Böcekler

Dünyanın birçok yerinde, özellikle besin kıtlığının olduğu yerlerde, diyetleri çeşitlendirmek ve besin güvenliğini iyileştirmek için yenilebilir böceklerin potansiyeline önem verilmektedir (FAO, 2013). Yenilebilir böcekler için bazı önemli potansiyel besin güvenliği tehlikeleri biyolojik (bakteri, virüs, mantar, parazitler), kimyasal (mikotoksinler, pestisitler, ağır metaller, antimikrobiyaller) ve fiziksel yollarla taşınabilmekte ve tüketicilerin sağlığına zarar verebilmektedirler. Böcek tüketiminin güvenlik riskleri büyük ölçüde böcek türlerine, yetiştirildikleri veya toplandıkları ortama, ne yediklerine ve kullanılan üretim ve işleme yöntemlerine göre değişkenlik göstermektedir (FAO, 2021). Böcekler, memelilere ve kuşlara göre, insanlara H1N1 (kuş gribi) ve BSE (deli dana hastalığı) gibi zoonotik enfeksiyonları bulaştırma açısından daha az risklidir. Bununla birlikte, güvenlikle ilgili diğer faktörler açısından önem arz etmektedir (van der Fels-Klerx ve ark., 2018; Raheem ve ark., 2019).

Böceklerin uygun olmayan gelişme aşamasında tüketilmesinden veya işleme ve pişirme tekniklerinden kaynaklanan riskleri bulunmaktadır (FAO, 2013). Bu riskler mikrobiyal kontaminasyon, toksikolojik tehlikeler ve alerjenik reaksiyonlar olarak sınıflandırılmaktadır (van der Fels-Klerx ve ark., 2018; Raheem ve ark., 2019). Mikrobiyal kontaminasyon açısından böcekler, gıda olarak güvenliklerini etkileyebilecek mikro organizmalara sahip olabilmektedirler (FAO, 2013). Potansiyel bir mikrobiyal tehlike olmanın aksine, bazı yenilebilir böceklerin antibakteriyel peptitler içerdiği bilinmektedir. Örneğin, yaygın karasinek (*Musca domestica*) larvalarından elde edilen yeni bir peptidin (Hf-1), *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis* gibi gıda patojenlerinin türlerini inhibe ettiği bulunmuştur. Portakal suyunda da bulunan Hf-1'in varlığı, böceğin bir gıda koruyucusu olarak potansiyeli olduğunu düşündürmektedir (Hou ve ark., 2007).

Toksikolojik tehlikeler açısından incelendiğinde böceklerde toksinlerin bulunması, ya böceğin doğal bir toksin sentezlemesinin ya da üzerinde yetiştirildikleri substrat yoluyla birikimin bir sonucu olarak görülebilmektedir (van der Fels-Klerx ve ark., 2018). Guo ve ark., (2014)'nın yapmış olduğu bir çalışmada, yemek kurdu *T. molitor* larvaları, dört *Fusarium* türü ile enfekte edilmiş buğday taneleri üzerinde yetiştirilmiş ve çekirdeklerde ve larvalarda birkaç mikotoksine rastlanmış, ancak larvalardaki konsantrasyonlar genellikle çekirdeklerdekinden çok daha düşük oranda olduğu gözlenmiştir.

Gıda endüstrisinde kullanılan sterilizasyon işlemlerine dirençli ve saklama süresi boyunca çoğalan sporlanmış patojen bakteriler arasında *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* en önemli ve daha fazla dikkat gerektiren bakteri grubu olarak yer almaktadır. Yenilebilir böceklerde endospor oluşturan bakterilerin varlığı ve ısıya dirençli olan sporlar; kurutma, kaynatma ve kızgın yağda kızartma gibi yenilebilir böcekler için benimsenen yaygın işleme yöntemlerine dayanabileceğinden, besin güvenliğini tehlikeye atan başka bir faktör olarak görülmektedir (Klunder ve ark., 2012). Codex Alimentarius Komisyonu'nun 2010 tarihli bir raporuna göre, yenilebilir böceklerin besin güvenliği yönleriyle ilgili çalışmaların sınırlı kaldığı belirtilmiştir. Böcekler besin açısından zengin olduklarından, patojenik mikroorganizmaların hayatta kalması ve/veya büyümesi için mükemmel koşulları yaratabildikleri ancak ısı işlemi gibi gıda işleme ve uygun depolama ile bu risklerin ortadan kaldırılabileceği de belirtilmiştir (Van Der Spiegel ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada *Oryctes monocerus* larvalarında tüketiciler için risk oluşturabilecek *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas eruginosa* ve *Bacillus cereus* gibi patojen bakteriler saptanmıştır (Banjo ve ark., 2006). Bu kontaminasyonun, uygun olmayan işleme, perakende satış ve satın alma sırasında taşıma veya havaya maruz kalma nedeniyle olabileceği belirtilmiştir. Toksikojenik bakterilerle kontamine olan böceklerin tüketilmesi tüketiciler için risk oluşturabileceğinden, kısmen kurutulmuş ve kızartılmış kurtçukların perakendecilerinin patojenleri ortadan kaldırmak için ürünlerin uygun şekilde ısıtılmalarının sağlanması tavsiye edilmiştir (FAO, 2013). Afrika'da yaygın bir uygulama olan güneşte kurutma, bazı mikroorganizmaları önlemekte ve nörotoksinler gibi zararlı bileşikleri ortadan kaldırmaktadır. Kurutulmuş böceklerin 30 dakika kaynatılması, bakterileri, mayaları ve küfleri öldürmenin güvenli bir yolu olduğu belirtilmektedir (Grabowski ve Klein, 2017). Böceklerin işlemden geçirilmesi, böceklerin alerjenitesini artırmada veya azaltmada rol oynayabilmektedir (Phiriyankul ve ark., 2015). Alerji, potansiyel olarak yaşamı tehdit eden bir durumdur ve entomofaji uygulaması veya sadece böcek ürünleriyle temas düşünüldüğünde büyük bir risk olarak görülmektedir (de Carvalho ve ark., 2020). Genellikle cırcır böceği, çekirge, bambu kurdu, ipekböceği pupası, sebze kurdu, mopan kurdu ve sago solucanı gibi yenilebilir böceklerin tüketimi yaşamı tehdit eden alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir (Ayensu ve ark., 2018). Böceklere karşı alerjik reaksiyonlar üzerine yapılan çalışmaların çoğu, böcek yetiştiriciliğindeki maruziyetten, solunum yoluyla veya böceklerle doğrudan temastan ve hatta böcek ısırıkları veya sokmalarından kaynaklanan alerjiyi rapor etmektedir (van der Fels-Klerx ve ark., 2018). Böcek tüketiminin neden olduğu alerjik reaksiyonların semptomları, oral alerjiden kaşıntıya veya şişliklerden astıma, anafilaktik şoka kadar değişebilmektedir (Ji ve ark., 2009; Van Huis ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada *T. molitor*'dan solunan partiküllerin güçlü hassaslaştırıcılar olduğu ve astıma yol açabileceği, dolayısıyla *Tenebrionid* ailesi böceklerini potansiyel olarak önemli alerjenler haline getirdiği gözlenmiştir (Mlcek ve ark., 2014). Ayrıca alerjiler, diğer gıda ürünlerindeki ilgili proteinler arasındaki çapraz reaktivite yoluyla da gelişebilmektedir. Örneğin, deniz ürünleri alerjisi olan kişilerde, yenilebilir böceklerin tüketilmesinden sonra alerjik reaksiyonlar gelişebilmektedir (Van Der Spiegel ve ark., 2013). Besin

kaynağı olarak böceklere karşı alerji potansiyeli, eklembacaklıların (örn= Karides, ıstakoz, kerevit, toz akarları) yaygın alerjenlerinin (pan-alerjenler) varlığına dayanabilmektedir. Örneğin toz akarlarına veya karideslere alerjisi olan kişiler tarafından böcek tüketimi, çapraz reaktivite ile bağlantılı alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir. Bu sebeple paketlenmiş böcek ürünlerinin, tüketicilerin yenilebilir böcek ürünlerinin olası alerjenlerini bilmesi için ambalaj malzemesi üzerinde açıklanması tavsiye edilmektedir (van der Fels-Klerx ve ark., 2018).

6. Yenilebilir Böceklere Yönelik Tüketici Algısı, Kabulü ve Tercih

Dünyadaki birçok kültür, böcekleri diyetlerinin normal bir parçası olarak tüketmektedir (de Carvalho ve ark., 2020). Sıklıkla tüketilen bazı böcek örnekleri çekirge, beyaz karınca ve ipekböceğidir (Raheem ve ark., 2019). Çekirge, kelebek ve böcek larvaları gibi yenilebilir böceklerin çoğu, çoğunlukla taze bitki yaprakları veya odunla beslenen otçullardır. Bu nedenle bazen kirli su sistemlerinden hasat edilen yengeç veya ıstakozlara göre daha hijyenik oldukları belirtilmektedir (Govorushko, 2019). Yenilebilir böcekler dünya uluslarının %80'inin tropik bölgelerde bulunduğu ülkeler tarafından tüketilmektedir. Bunun bir örneği, kanatlı termitlerin popüler bir yemek olduğu ve farklı şekillerde hazırlandığı Afrika, Gana'dır. Asya, Tayland'da yerel barlarda, biranın tuzlu tamamlayıcısı olarak kızarmış böcekler eşlik etmektedir. Avustralya, Okyanusya'da, aborjin diyetinin bir standardı olan böceklerin tadının bademden farkı olmadığı ve kavrulmuş yemek şeklinde tüketildiği belirtilmiştir. Meksika'da, sokakta *Taco Carts*, agave solucanı, *chapulines* (çekirge) ve *escamoles* (karınca yumurtası) satılmakta ve tüketilmektedir (Van Huis ve ark., 2013). Ancak böcek tüketiminin geleneksel olmadığı ülkelerde, böceklerle yemek hazırlama konusunda beceri ve kabul eksikliğinin de olduğu belirtilmektedir (Ruby ve Rozin, 2019).

Pek çok insan, böcekleri yiyecek olarak kullanma düşüncesinden tiksiniyor ve bu tutumun çocukluk çağlarından (genellikle 2-5 yaş) itibaren yerleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Tiksiniyor hissi, böcekleri yeme isteği üzerinde büyük bir olumsuz etki yaratmaktadır. Bu durum böcek ürünlerinin tadına bakılmadan reddedilmeleriyle sonuçlanmaktadır (Tan ve ark., 2016). Böcekleri denemekten iğrenme, tiksiniyor veya tereddüt etme (neofobi) duygularının sebepleri olarak genellikle böceklerin kirli, zararlı, kişisel sağlık için tehlikeli ve tat açısından olumsuz olmasıyla ilişkilendirilmektedir (Orsi ve ark., 2019). Bazı insanlar böcekleri gıda olarak kabul etmeyi zorlaştıran yeni gıdalara (gıda nefobisi) karşı isteksiz davranmaktadır ve bazıları da bu tür gıdalardan tiksiniyor. Neofobi ve iğrenme, böceklerin besin veya besin kaynağı olarak kabul edilmesinin önündeki en büyük engellerden biri olmuştur (de Carvalho ve ark., 2020). Araştırmalar, neofobinin insanların böcek bazlı yiyecekleri yeme isteğini etkilediğini ve entomofaj durumunda tiksintiden söz edildiğini göstermektedir. Bunlarla birlikte böcek yeme alışkanlıkları sadece beslenme yönleriyle değil, aynı zamanda bölgedeki sosyo-kültürel uygulamalar ve dini inançlarla da yakından ilişkilendirilmektedir (Tan ve ark., 2016; Barbera, 2018). Caparros Megido ve ark., (2016)'nın yapmış olduğu bir çalışmada; katılımcılara entomofajiye ilişkin ne gibi önyargıları olduğu sorgulanmış ve

%13'ü “tiksinme” ve “mide bulandırıcı” şeklinde cevaplamıştır. Tan ve ark., (2015)'nin yaptığı çalışmada, iğrenme hissinin, böcek ürünlerinin daha önce tadına bile bakmadan algıyı güçlü bir şekilde etkilediği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalara göre erkeklerin böcekleri yemeye kadınlardan daha istekli olma eğiliminde oldukları bulunmuştur (Hartmann ve ark., 2015; Menozzi ve ark., 2017). Ayrıca böcekleri yemeye yönelik tutumlar ulusal farklılıkları da ortaya çıkarmıştır. Bu durumda böcek yemeye Amerikalıların Hintlilerden (Ruby ve Rozin, 2019), Çinlilerin Almanlardan daha istekli olduğu belirtilmiştir (Hartmann ve ark., 2015). Benzer şekilde İtalyan tüketicilerde de erkeklerin kadınlardan daha istekli olduğu gözlenmiştir. Böcek türlerine göre yeme isteklilik durumuna bakıldığında; cırcır böcekleri>arı larvaları ve çekirgeler> yemek kurtları ve ipek böcekleri> dev su böcekleri şeklinde sıralanmıştır. Ayrıca yapılan duyuşal değerlendirmede; düşük seviyede böcek görünürlüğü olan gıdaların tercih edildiği belirlenmiştir. Bunlarla birlikte böcek yemeyen bireylerin reddetme durumunun nedeni sorgulandığında ana faktörlerin “tiksinme” ve “gıda neofobisi” olduğu saptanmıştır (Tuccillo ve ark., 2020). Böcek tüketiminin Türkiye’de incelendiği bir çalışmada, gençlerin diğer çalışmalara benzer olarak cinsiyetten etkilendiği saptanmıştır. Fakat verilen çalışmaların aksine böcekleri yeme durumlarına göre kadınların erkeklerden daha istekli oldukları gözlenmiştir. Ayrıca bireylerin entomofajiyi reddetmelerinin en yaygın nedeninin “iğrenme” faktörü olduğu bulunmuştur (Yüksel ve Canhilal, 2018). Ruby ve Rozin (2019)'nin yapmış oldukları bir çalışmada her iki cinsiyet grubunda “tiksinme” tepkisi en belirgin tutumken, Amerikalılarda “faydaları”, Hintlilerde ise “dini inanç” yeme istekliliğini belirleyici faktör olarak takip etmiştir.

İnsan gıdası olarak böceklere odaklanan çoğu çalışma, böcekleri yemeye ilişkin daha önceki deneyimlerini, entomofajinin kabul edilmesinde önemli bir faktör olarak tanımlamıştır (Verbeke, 2015; Tan ve ark., 2015; Caparros Megido ve ark., 2016; Orsi ve ark., 2019). Ayrıca tüketicileri böcek yemeye ikna etmek için çeşitli stratejiler önerilmiştir (Verneau ve ark., 2016). Bu stratejilerde çevresel faydaları vurgulamak (eğitim kampanyaları gibi) bazı tüketicilere çekici gelebilmektedir, ancak duyuşal özelliklerin (yem seçimi ve pişirme teknikleri) ön koşul olduğu da vurgulanmıştır. Besinsel olarak, yaygın et ürünleriyle rekabet edebilir düzeyde olmasına rağmen sağlık yararlarından bahsetmek daha inandırıcı olabilmektedir. Psikolojik faktörlerin kesinlikle bir rolü olduğunu ve bu kategori içerisinde; böcek ziyafetleri düzenlemenin, ön tatma ve tatma sonrası bilgi sağlamanın, tanıdık gıda ürünlerinde böcekleri (işlenmiş böcek ürünleri; böcek unu ile yapılmış kurabiye) gizlemenin, rol modelleri kullanımının, besin güvenliğini vurgulamanın ve adlandırmanın (yemek kurdu gibi kelimelerden kaçınmak) bir etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca böcek ürünlerinin tasarımı (iştah açıcı çağrışımlar; toprağın karidesi, süper food) bir strateji olarak da öne çıkarılmıştır (Verneau ve ark., 2016; Kauppi ve ark., 2019; de Carvalho ve ark., 2020; Van Huis, 2020).

Böcek bazlı ürünlerin tasarımında, besin maddeleriyle birlikte biyoaktif bileşenlerin tutulmasını aynı zamanda insanları bu kaynağa alıştırtılmasını ve bu konudaki algılarının değiştirilmesi hedeflenmektedir. Daha sonra insanlar için özel olarak böcek gıdalarının kullanımı ve manipülasyonu

gerekmektedir. Uygun gıda formülasyonları ve süreçleri, belirli tatlar/dokular yaratarak böcek gıdalarının tüketici diyetlerine dahil edilmesini kolaylaştırabilmektedir (Sun-Waterhouse ve ark., 2016). Gerçek piyasada böcekler gıda bileşenleri olarak; yemek kurdu/kriket tozları, kavrulmuş terbiyeli yemek kurdu/cırcır böcekleri, deniz tuzu ve biberle hazırlanan yemek kurtları veya ballı hardal ve acı kireç ile şekerleme şeklinde bulunabilmektedir. Bunlarla birlikte böcekler lolipoplar, aroma çubukları gibi hazır/işlenmiş ürünlerde, çikolata ile karıştırılmış granolada ve hatta bisküvi ve krakerlerde de bulunabilmektedir (de Carvalho ve ark., 2020).

7. Sonuç

Küresel toplumun karşı karşıya kaldığı önemli sorulardan biri yetersiz beslenmedir. Bununla birlikte; dünya nüfusu arttıkça, insanoğlunun gıda ve beslenmeye, özellikle hayvansal proteine yönelik talepleri ve ihtiyaçları da artmaktadır. Entomofaji, yeni bir besin kaynağı olarak yetersiz beslenmeyle mücadelede önemli bir yere sahiptir. Böceklerin kullanımı, birçok çevresel ve besinsel avantajlara sahip ve sürdürülebilir bir hayvansal protein kaynağı olduğundan, son zamanlarda özellikle Avrupa'da büyük ilgi görmektedir. Bu ilginin ana nedeni, böceklerin çoğunun düşük ekonomik ve çevresel maliyetlerle yetiştirilebilmesi ve insanların çoğu besin taleplerini karşılayabilmesidir.

Yenilebilir böceklerin geniş bir yelpazesi, insan tüketimine uygundur. Fakat böceklerin insan diyetlerine dahil edilmesi için üretim ve işleme yöntemleri ile güvenlik ve beslenme standartları geliştirmeleri kritik öneme sahiptir. Tüm gıdalarda olduğu gibi, böceklerde de biyolojik, kimyasal ve allerjenik risk olasılığı dikkate alınmalıdır. Bu risklere rağmen böcekler, hem hayvanlar hem de insanlar için önemli ölçüde daha küçük çevresel ayak izine sahip besleyici bir diyet olma potansiyeli ile gelecekteki gıda ihtiyaçları için umut vericidir. Bunlarla birlikte yenilebilir böcekler, insan gıdası için sürdürülebilir alternatif bir protein kaynağı olarak düşük sera gazı emisyonları, yüksek yem dönüştürme verimliliği, düşük arazi kullanımı ve yüksek değerli protein ürünlerine dönüştürme yetenekleri açısından da ilgi çekici duruma gelmiştir.

Yenilebilir böcekler, özellikle Batı dünyasında tüketiciler açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Yenilebilir böceklerin tüketiciler tarafından olumsuz bakış açısı göz önünde bulundurularak işlenmesi ve lezzetli yemeklere dönüştürülmesi, bu bağlamda; böcek tüketimini teşvik etmek için bir dizi stratejinin uygulanması oldukça önem arz etmektedir.

Yapılan in vitro ve in vivo hayvan çalışmalarının bulgularına dayanarak, böcek tüketiminin metabolik problemler ve bağışıklık fonksiyonları için potansiyel olarak sağlığı geliştirici etkileri ileri sürülmüştür. Ancak hassas kişilerde alerjik reaksiyonları önlemek için dikkatli olunması gerektiği de belirtilmiştir. Bununla birlikte, böceklerin alımını takiben insanlarda ortaya çıkan sağlık sonuçlarını değerlendiren çalışmalarda önemli bir eksiklik bulunmaktadır.

Sonuç olarak böcek tüketimine ilgi son yıllarda her ne kadar artmış olsa da Avrupa'daki toplam gıda alımına yönelik mevcut katkılar hala sınırlıdır. Ayrıca yenilebilir böceklerin besleyici özellikleri,

potansiyel sağlık etkileri, besin güvenliği boyutu ve ayrıca tüketicilerin algısı ve kabulüne yönelik bilimsel çalışmalara ve kontrollü insan müdahale denemelerine ihtiyaç bulunmaktadır.

ıkar atışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar atışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan zeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Ademolu K., Idowu AB. Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development. *African Entomology* 2010; 18, 360-364.
- Aguilar JGDS. An overview of lipids from insects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 2021; 33, 101967.
- Ahn MY., Ryu KS., Lee YW., Kim YS. Cytotoxicity and L-amino acid oxidase activity of crude insect drugs. *Archives of Pharmacal Research* 2000; 23, 477-481.
- Anankware J., Fening K., Osekre E., Obeng-Ofori D. Insects as food and feed: A review. *International Journal of Agricultural Research and Review* 2015; 3, 143-152.
- ANSES. Opinion of the french agency for food. *Environmental and Occupational Health & Safety*. 2015. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, <https://www.anses.fr/en/system/files/b10r1sk2014sa0153en.pdf>.
- Ayensu J., Annan R., Edusei A., Lutterodt H. Beyond nutrients, health effects of entomophagy: a systematic review. *Nutrition & Food Science* 2018; 49.
- Banjo A., Lawal O., Adeyemi A. The microbial fauna associated with the larvae of *oryctes monocerus*. *Journal of Applied Sciences Research* 2006; 2.
- Barbera F., Verneau F., Amato M., Grunert KG. Understanding Westerners' disgust for the eating of insects: The role of food neophobia and implicit associations. *Food Quality and Preference* 2018; 64, 120-25.
- Baş Aksoy A., Nehir El S. Geleceğin protein kaynağı yenilebilir böcekler. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2021; 9(5): 887-96.
- Bauserman MS., Lokangaka A., Gado J., Close K., Wallace D., Kodondi KK., Bose CL. A cluster-randomized trial determining the efficacy of caterpillar cereal as a locally available and sustainable complementary food to prevent stunting and anaemia. *Public Health Nutrition* 2015; 18, 1785-92.
- Bednářová M. Possibilities of using insects as food in the czech republic dissertation. Thesis, Mendel University, Brno. 2013.

- Caparros Megido R., Gierts C., Blecker C., Brostaux Y., Haubruge É., Alabi T., Francis F. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference* 2016; 52, 237-43.
- Cerritos R. Insects as food: an ecological, social and economical approach. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2009; 4(27).
- Cito A., Botta M., Francardi V., Dreassi E. Insects as source of angiotensin converting enzyme inhibitory peptides. *Journal of Insects as Food and Feed* 2017; 3(4):231-240.
- de Carvalho NM., Madureira AR., Pintado ME. The potential of insects as food sources - a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2020; 60(21): 3642-3652.
- de Castro RJS., Ohara A., Aguillar JG., Domingues MAF. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science & Technology* 2018; 76: 82-89.
- Dai C., Ma H., Luo L., Yin X. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptide derived from *Tenebrio molitor* (L.) larva protein hydrolysate. *European Food Research and Technology* 2013; 236: 681-689.
- Di Mattia C., Battista N., Sacchetti G., Serafini M. Antioxidant activities in vitro of water and liposoluble extracts obtained by different species of edible insects and invertebrates. *Frontiers in Nutrition* 2019; 6.
- EFSA Scientific Committee. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* 2015; 13(10): 4257.
- Ersin M., Beyhan Y. Toplu beslenme sistemlerinde hijyen sanitasyonu sağlama önerileri. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi* 2001; 2(8): 19-26.
- FAO. Edible insects future prospects for food and feed security. 2013. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>.
- FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. 2017. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/a-i6583e.pdf>.
- FAO. Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and Opportunities For The Sector. 2021 Access date, 02 March 2022. Retrieved from, <http://www.fao.org/3/cb4094en/cb4094en.pdf>.
- Finke MD. Complete nutrient content of three species of wild caught insects, pallid-winged grasshopper, rhinoceros beetles and white-lined sphinx moth. *J. Insects as Food Feed* 2015; 1(4): 281-292.
- Grabowski NT., Klein G. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International* 2017; 23(1): 17-23.
- Govorushko S. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology* 2019; 91, 436-445.

- Guo Z., Döll K., Dastjerdi R., Karlovsky P., Dehne HW., Altincicek B. Effect of fungal colonization of wheat grains with fusarium spp. on food choice, weight gain and mortality of meal beetle larvae (*Tenebrio molitor*). *PLoS One* 2014; 9(6): e100112.
- Güneş E., Özkan M. Alternatif gıda kaynağı olarak yenilebilir böceklerin kullanımına dair bakış açılarının değerlendirilmesi (Evaluation of perspectives on the use of edible insects as an alternative food source). *Journal of Tourism and Gastronomy Studies* 2020; 8(2): 839-851.
- Haldhar SM., Thangjam R., Kadam V., Jakhar BL., Loganathan R., Singh KI., Rolania K., Singh S., Dhaka SR., Singh KM. A review on entomophagy: Natural food insects for ethnic and tribal communities of North-East India. *J. Environ. Biol.* 2021; 42: 1425-1432.
- Hartmann C., Shi J., Giusto A., Siegrist M. The psychology of eating insects: A cross-cultural comparison between Germany and China, *Food Quality and Preference* 2015; 44: 148-156.
- Hong KS., Yun SM., Cho JM., Lee DY., Ji SD., Son JG., Kim EH. Silkworm (*Bombyx mori*) powder supplementation alleviates alcoholic fatty liver disease in rats. *Journal of Functional Foods* 2018; 43: 29-36.
- Hou L., Shi Y., Zhai P., Le G. Inhibition of foodborne pathogens by Hf-1, a novel antibacterial peptide from the larvae of the housefly (*Musca domestica*) in medium and orange juice. *Food Control* 2007; 18(11): 1350-1357.
- Huis A. Conference on 'The future of animal products in the human diet : health and environmental concerns' Boyd Orr Lecture Edible insects are the future ? *Proceedings of The Nutrition Society* 2016; 1(3):1-12.
- Ji K., Chen J., Li M., Liu Z., Wang C., Zhan Z., Xia Q. Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. *Trends in Food Science & Technology* 2009; 20(5): 227-231.
- Kauppi SM., Pettersen IN., Boks C. Consumer acceptance of edible insects and design interventions as adoption strategy. *International Journal of Food Design* 2019; 4(1):39-62.
- Kaymaz E., Ulema Ş. Yenilebilir böceklerin menülerde kullanılması üzerine bir araştırma-Kapadokya örneği. *Journal of Travel and Tourism Research* 2020; 14, 46-64.
- Klunder HC., Wolkers-Rooijackers J., Korpela JM., Nout MJR. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 2012; 26(2): 628-631.
- Konyole S., Kinyuru J., Owuor B., Kenji G., Onyango C., Estambale B., Owino V. Acceptability of amaranth grain-based nutritious complementary foods with dagaa fish (*Rastrineobola argentea*) and edible termites (*Macrotermes subhylanus*) compared to corn soy blend plus among young children/mothers dyads in Western Kenya. *Journal of Food Research* 2012; 1(3).
- Kouřimská L., Adámková A. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* 2016; 4: 22-26.

- Kowalczewski PŁ., Walkowiak K., Masewicz Ł., Bartczak O., Lewandowicz J., Kubiak P., Baranowska HM. Gluten-Free Bread with Cricket Powder—Mechanical Properties and Molecular Water Dynamics in Dough and Ready Product. *Foods* 2019; 8(7):240.
- Lange K., Nakamura Y. Edible insects as a source of food bioactives and their potential health effects. *Journal of Food Bioactives* 2021; 14:4-9.
- Lategan A. An assessment of the potential of edible insect consumption in reducing human nutritional deficiencies in South Africa while considering food and nutrition security aspects. Masters's Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa, 2019.
- Lee KP., Simpson SJ., Wilson K. Dietary protein quality influences melanization and immune function in an insect. *Functional Ecology* 2008; 22, 1052-61.
- Looy H., Dunkel FV., Wood JR. How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways. *Agric Hum Values* 2014; 31, 131-141.
- Menzio D., Sogari G., Veneziani M., Simoni E., Mora C. Eating novel foods: an application of the theory of planned behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food Quality and Preference* 2017; 59, 27-34.
- Mentang F., Maita M., Ushio H., Ohshima T. Efficacy of silkworm (*Bombyx mori* L.) chrysalis oil as a lipid source in adult Wistar rats. *Food Chemistry* 2011; 127(3): 899-904.
- Michaelsen KF., Hoppe C., Roos N., Kaestel P., Stougaard M., Lauritzen L., Friis H. Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age. *Food and Nutrition Bulletin* 2009; 30(3): 343-404.
- Mlcek J., Rop O., Borkovcová M., Bednářová M., A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 2014; 64(3): 147–157.
- Muslu M. Sağlığın geliştirilmesi ve sürdürülebilir beslenme için alternatif bir kaynak yenilebilir böcekler / An alternative source for improvement of health and sustainable nutrition: edible insects, *Gıda / The Journal Of Food* 2020; 45, 1009-1018.
- Navarro Del Hierro J., Gutiérrez-Docio A., Otero P., Reglero G., Martin D. Characterization, antioxidant activity, and inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food Chem* 2020; 309, 125742.
- Nguyen P., Kim KY., Kim AY., Kim NS., Kweon H., Ji SD., Koh YH. Increased healthspan and resistance to Parkinson's disease in *Drosophila* by boiled and freeze-dried mature silk worm larval powder. *Journal of Asia Pacific Entomology* 2016; 19(2): 551-561.
- Nowak V., Persijn D., Rittenschober D., Charrondiere UR. Review of food composition data for edible insects. *Food Chem* 2016; 193, 39-46.
- Ogbuagu MN., Emodi NV. Fatty acid and amino acid compositions of the larva of oil palm weevil (*Rhyncophorous Ferrugineus*). *Elixir Appl. Chem* 2014; 67, 21560-25164.

- Ordoñez-Araque R., Egas-Montenegro E. Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 2021; 23, 100304.
- Orkusz A. Edible insects versus meat—nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients* 2021; 13(4): 1207.
- Orsi L., Voegel LL., Stranieri S. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Res Int* 2019; 125, 108573.
- Paoletti MG., Buscardo E., Vanderjagt DJ., Pastuszyn A., Pizzoferrato L., Huang YS., Cerda H. Nutrient content of termites (*Syntermes soldiers*) consumed by Makiritare Amerindians of the Alto Orinoco of Venezuela *Ecology of Food and Nutrition* 2003; 42(2): 177-191.
- Payne CLR., Scarborough P., Rayner M., Nonaka K. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends in Food Science & Technology* 2016; 47, 69-77.
- Pettit GR., Meng Y., Herald DL., Knight JC., Day JF. Antineoplastic agents. 553. The Texas grasshopper *brachystola magna*. *Journal of Natural Products* 2005; 68(8): 1256-1258.
- Phiriyangkul P., Srinroch C., Srisomsap C., Chokchaichamnankit D., Punyarit P. Effect of food thermal processing on allergenicity proteins in bombay locust (*Patanga Succincta*). *International Journal of Food Engineering* 2015; 1, 23-8.
- Pippinato L., Gasco L., Di Vita G., Mancuso T. Current scenario in the European edible-insect industry: a preliminary study. *Journal of Insects as Food and Feed* 2020; 6(4): 371-381.
- Raheem D., Raposo A., Oluwole OB., Nieuwland M., Saraiva A., Carrascosa C. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International* 2019; 126, 108672.
- Ramos-Elorduy J. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecology of Food and Nutrition* 2008; 47(3): 280-297.
- Research and Markets. Global \$7.95Bn edible insects market by 2030: Analysis by Product Type & Application - ResearchAndMarkets.com. 2019. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, https://www.researchandmarkets.com/research/xrqhr7/7_95_billion?w=12.
- Ruby MB., Rozin P. Disgust, sushi consumption, and other predictors of acceptance of insects as food by Americans and Indians. *Food Quality and Preference* 2019; 74, 155-162.
- Rumpold BA., Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* 2013; 57(5): 802-823.
- Seo M., Goo TW., Chung MY., Baek M., Hwang JS., Kim MA., Yun EY. *Tenebrio molitor* Larvae Inhibit Adipogenesis through AMPK and MAPKs Signaling in 3T3-L1 Adipocytes and Obesity in High-Fat Diet-Induced Obese Mice. *International Journal of Molecular Sciences* 2017; 18(3): 518.

- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. L. Leslie, & K. Shono (Eds.), *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development* (pp. 189-200). Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok: FAO. 2010.
- Skau JK., Touch B., Chhoun C., Chea M., Unni US., Makurat J., Roos N. Effects of animal source food and micronutrient fortification in complementary food products on body composition, iron status, and linear growth: a randomized trial in Cambodia. *Am J Clin Nutr* 2015; 101(4): 742-751.
- Slocinska M., Marciniak P., Rosinski G. Insects Antiviral and Anticancer Peptides: New Leads for the Future? *Protein and peptide letters* 2008; 15, 578-585.
- Staljanssens D., Van Camp J., Herregods G., Dhaenens M., Deforce D., Van de Voorde J., Smagghe G. Antihypertensive effect of insect cells: in vitro and in vivo evaluation. *Peptides* 2011; 32: 526-530.
- Stone AK., Tanaka T., Nickerson MT. Protein quality and physicochemical properties of commercial cricket and mealworm powders. *J Food Sci Technol* 2019; 56(7): 3355-3363.
- Stull VJ., Finer E., Bergmans RS., Febvre HP., Longhurst C., Manter DK., Weir TL. Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a double-blind, randomized crossover trial. *Scientific Reports* 2018; 8(1): 10762.
- Sun-Waterhouse D., Waterhouse GIN., You L., Zhang J., Liu Y., Ma L., Dong Y. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Research International* 2016; 89(1): 129-151.
- Tan HSG., Fischer ARH., Tinchan P., Stieger M., Steenbekkers LPA., van Trijp H CM. Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference* 2015; 42, 78-89.
- Tan HSG, Fischer ARH, van Trijp HCM, Stieger M. Tasty but nasty? Exploring the role of sensory-liking and food appropriateness in the willingness to eat unusual novel foods like insects. *Food Quality and Preference* 2016; 48, 293-302.
- Tuccillo F., Marino MG., Torri L. Italian consumers' attitudes towards entomophagy: Influence of human factors and properties of insects and insect-based food. *Food Research International* 2020; 137, 109619.
- Van der Fels-Klerx HJ., Camenzuli L., Belluco S., Meijer N., Ricci A. Food safety issues related to uses of insects for feeds and foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2018; 17(5): 1172-1183.
- Van Der Spiegel M., Noordam MY., van der Fels-Klerx HJ. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in

- food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2013; 12(6): 662-678.
- Van Huis A. Edible insects are the future? *Proc Nutr Soc* 2016;75(3):294-305.
- Van Huis A. Nutrition and health of edible insects. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2020; 23(3): 228-231.
- Van Huis A., van Itterbeeck J., Klunder HC., Mertens E., Halloran A., Muir G., Vantomme P. Edible insects–future prospects for food and feed security. 2013. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf.
- Verbeke W. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference* 2015; 39, 147-155.
- Vercruyssen L., Smagghe G., Herregods G., Van Camp J. ACE inhibitory activity in enzymatic hydrolysates of insect protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2005; 53: 5207-5211.
- Verneau F., La Barbera F., Kolle S., Amato M., Del Giudice T., Grunert K. The effect of communication and implicit associations on consuming insects: An experiment in Denmark and Italy. *Appetite* 2016; 106, 30-36.
- WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. 2007. Access date, 02 March 2022. Retrieved from, http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_935_eng.pdf.
- Xia Z., Chen J., Wu S. Hypolipidemic activity of the chitoooligosaccharides from *Clanis bilineata* (Lepidoptera), an edible insect. *International Journal of Biological Macromolecules* 2013; 59, 96-98.
- Yüksel E., Canhilal R. A survey of public opinion about entomophagy in erciyes university. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 2018; 4(2): 203-208.

Genetik Algoritmaların İşleyişi ve Genetik Algoritma Uygulamalarında Kullanılan Operatörler

Gülşah KEKLİK^{1*}, Bahri Devrim ÖZCAN²

^{1,2}Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-1775-2773>

²<https://orcid.org/0000-0002-9198-656X>

*Sorumlu yazar: gulsahkeklik@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.08.2022

Kabul tarihi: 19.01.2023

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Genetik algoritma

Genetik operatörler

Seleksiyon

Çaprazlama

Mutasyon

ÖZ

Genler, canlılardaki görünüş, davranış, kişilik gibi özellikleri belirleyen ve bu canlılarla ilgili bilgi edinmek üzere kullanılan birimler olması ile birlikte canlıya ait bir özelliği denetleyen kromozom parçası olarak tanımlanmaktadır. İlk kez bir mühendis ve biyolog olan Holland tarafından 1975 yılında kullanılan genetik algoritma (GA), canlılardaki genetik kod mantığı aracılığı ile karmaşık problemleri hızlı ve kolay bir biçimde en iyi çözüme ulaştırmayı hedeflemektedir. Genetik algoritmalar, bir çözüm uzayındaki her noktayı, kromozom olarak adlandırılan ikili bit dizisi şeklinde kodlamaktadır. Bu noktaların her birine ait bir uygunluk değeri vardır. Dolayısıyla, tek bir nokta yerine noktalar kümesini muhafaza etmektedir. Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanması, uygunlukların hesaplanması, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanması adımlarını içermekte olup bu operatörlerden faydalanarak yeni bir popülasyon oluşturmaktadır. Bu derleme makalesinde genetik çalışmalarda çözümü oldukça zor olan problemlerin çözümünü kolaylaştırmak ve kısa zamanda mümkün olan en iyi çözümü ortaya çıkarmak adına geliştirilmiş olan genetik algoritmaların işleyişi ve uygulamalarında kullanılan operatörler ele alınmıştır.

Functioning of Genetic Algorithms and Operators Used in Genetic Algorithm Applications

Review

Article History:

Received: 12.08.2022

Accepted: 19.01.2023

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Genetic algorithm

Genetic operators

Selection

Crossover

Mutation

ABSTRACT

Genes are defined as the parts of chromosomes that determine features such as appearance, behaviour and personality in living things and are used to obtain information about these living things, as well as control a feature of the living thing. Genetic algorithm (GA), which was first used by Holland, an engineer and biologist, in 1975, aims to quickly and easily find the best solution to complex problems through the logic of the genetic code in living things. Genetic algorithms encode each point in a solution space as a binary string of bits called chromosomes. Each of these points has a fitness value. Hence, it preserves a set of points rather than a single point. Genetic algorithms include the steps of coding solutions, calculating fitness, applying selection, crossover, and mutation operators, and creating a new population by using these operators. In this review, operators used in the operation and applications of genetic algorithms, which have been developed to facilitate the solution of problems that are very difficult to solve in genetic studies and to reveal the best possible solution in a short time, are discussed.

To Cite: Keklik G., Özcan BD. Genetik Algoritmaların İşleyişi ve Genetik Algoritma Uygulamalarında Kullanılan Operatörler. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 1052-1066.

1. Giriş

Karmaşık günümüz şartları sebebiyle problemlere pratik çözüm üreten güncel çözüm metotları arayışı ortaya çıkmıştır. Sert (hard) optimizasyon yöntemleri yerine, yumuşak hesaplama (soft computing) ve evrimsel algoritma (evolutionary algorithm) yaygın bir halde kullanılmaya başlanmıştır. Bu anlamda, genetik algoritmaların diğer yumuşak hesaplama yöntemleri ile beraber kullanıldığı hibrid (hybrid) çözümlerin geliştirilmesi için çalışılmaktadır.

Genetik algoritmalar, temelde doğal seçime dayanan arama ve sayısal optimizasyon yöntemlerinden biridir ve evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturarak zor problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar, biyolojik evrimin işleyişini izleyerek bazı doğal olayları modellemektedir. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, deneysel çalışmaların optimizasyon aşaması, mekanik öğrenme, finans, pazarlama, tasarım, çizelgeleme, hücresel üretim, endüstriyel uygulamalar, sınıflandırmalar gibi başlıca alanlarda iyi sonuçlar vermesi mümkündür (Emel ve Taşkın, 2002). Genetik algoritmalar, tipik optimizasyon yöntemlerine kıyasla parametre kümesi yerine kodlanmış şekilleri kullanır ve sadece amaç fonksiyonuna ihtiyaç duyar. Böylece, kısa zamanda çözüm elde edilmiş olur (Goldberg, 1989).

Evrimsel hesaplama ilk olarak Rechenberg'in "Evrimsel Stratejileri" adlı eserinde bahsedilmiştir (Rechenberg, 1973). Holland, bilgisayar aracılığıyla genetik algoritmaları oluşturan ilk kişidir (Holland, 1975). 1989 yılında, Holland'ın öğrencisi olan Goldberg, "Makine Öğrenmesi, Arama ve Optimizasyonu İçin Genetik Algoritma" isimli kitabında genetik algoritmaların çeşitli konularda kullanılabilmesini ve temel ilkelerin ortaya atılmasını takiben genetik algoritmalarla ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yayımlandığını belirtmiştir (Goldberg, 1989). Koza, 1992 yılında yapmış olduğu bir çalışmada genetik algoritmadan faydalanarak genetik programlamanın gelişmesine katkı sağlamıştır (Koza, 1992). Reeves, hükümetler tarafından genetik algoritma tabanlı projelere, diğer bazı projelere oranla daha fazla bütçe ayrıldığını ifade etmiştir (Yeniay, 2001). Dolayısıyla bu durumun, birtakım yapay zekâ tekniklerine göre avantajları olduğu söylenebilmektedir.

Genetik Algoritma ve Genetik Algoritma ile İlgili Tanımlar

İnsan hayatını yöneten genler, canlılarda davranış, kişilik, görünüş vb. nitelikleri belirlemek ve canlılara dair bilgi edinmek üzere kullanılan yapıtaşlarıdır (Man ve ark., 1999). Genetik algoritmanın kökeni Charles Darwin'e dayanmaktadır. Darwin, 1859 yılında yayınlanan "Türlerin Kökeni" adlı yapıtında birtakım tezler ortaya sunmuştur (Beasley ve ark., 1999; Özkan, 2003). Bu tezler:

- I. Türler daima bir gelişim gösterirler.
- II. İnsanların kökeni maymunlar olabilir.
- III. Üreme potansiyeli yüksek olmasına rağmen sağ kalan bireylerin sayısı oldukça düşüktür.
- IV. Bir türe ait bireyler arasında yüksek farklılıklar söz konusudur.

V. Bu farklılıklar kalıtsal bir şekilde evlatlara aktarılmaktadır.

İlk defa 1975 yılında, Holland tarafından oluşturulan genetik algoritma, genetik kod aracılığıyla en iyi sonuca ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu sonuç, doğal seçilimi yani en iyi olan bireyin yaşama olasılığının daha mümkün olduğunu ifade etmektedir. Genetik algoritma kullanımı sonucunda sağ kalan birey en iyi sonuç olarak alınmaktadır (Man ve ark., 1999).

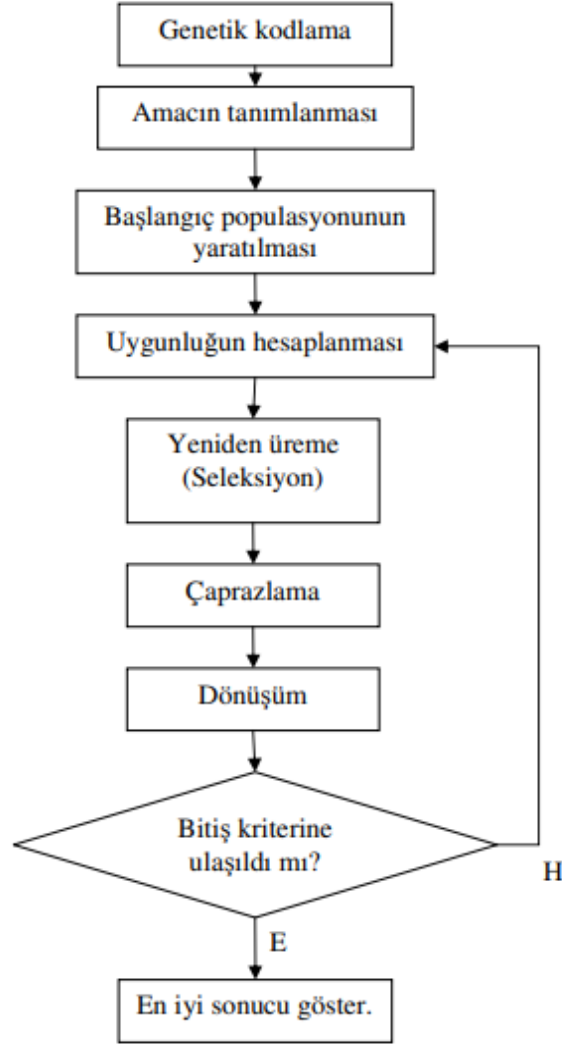
Genetik algoritmaya ilişkin tanımlara aşağıda yer verilmiştir (Tablo 1; Goldberg, 1989; Vural, 2005):

Tablo 1. Genetik algoritma ile ilgili bazı terimler, genetik algoritmadaki karşılıkları ve tanımlar (Goldberg, 1989; Vural, 2005).

| Terimler | Genetik Algoritmadaki Karşılıkları | Tanımlar |
|---------------------|------------------------------------|---|
| Gen | Karakter özelliği | Bit şeklinde de tanımlanmaktadır. Bireyin değerini ifade eden terimdir. |
| Kromozom | Birey | Dizi şeklinde tanımlanmaktadır. Genler bir araya gelerek kromozomları oluşturmaktadır. |
| Genotip | Gen yapısı | Kromozomlardaki birtakım gen topluluklarıdır. |
| Fenotip | Deşifre edilmiş yapı | Deşifre edilmiş genotipi ifade etmektedir. |
| Allel | Özellik değeri | Genlerin alabildiği farklı değerler topluluğudur. |
| Lokus (Locus) | Karakterin pozisyonu (yeri) | Genin kromozom üzerindeki pozisyonudur. |
| Popülasyon | Aday çözümler topluluğu | Bir araya gelen kromozomlar ile oluşan topluluklardır ve 10 ila 100 değerleri arasında değişim göstermektedir. |
| Uygunluk Fonksiyonu | Amaç fonksiyonu | Bireyin uyumunu gösteren değer olup bu değer yüksek olması, sağ kalma olasılığının da yüksek olmasını belirtmektedir. |
| Seleksiyon | Seçim | Sağ kalan canlıların popülasyondan seçilmesidir. |

Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi

Genetik algoritmalar, Şekil 1'de verilen akış şemasındaki prensibe göre çalışmaktadır. İlk olarak, eldeki problem için rastgele n kromozoma sahip bir popülasyon oluşturulmaktadır. Sonrasında, popülasyondaki kromozomların her biri için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır. Kromozomları problemin parametreleri haline getirerek hesaplama yapan bu fonksiyonun verimli ve hassas olması, genetik algoritmaların sonuçlarını başarılı kılmaktadır. Yeni bir popülasyon elde edene kadar aşağıda verilmiş olan aşamalar tekrar edilmektedir (Şekil 1; Zhou, 2006; Altay, 2007):



Şekil 1. Genetik algoritmanın aşamaları (Zhou, 2006; Altay, 2007)

1. Aşama (Genetik Kodlama): Fenotipin genotipe dönüştürülme adımıdır. Kromozoma ait yapı aşağıdaki gibidir:

$$S = s_1 s_2 \dots s_j \dots s_n \quad (1)$$

s_i , $i = 1, 2, \dots, n$ genleri, i değeri de genin lokusunu ifade etmektedir. s_i geninin farklı değerleri allel şeklinde ifade edilmektedir. Kromozom uzunluğunu ifade eden (n) genellikle sabit tutulmaktadır (Sakawa, 2002). Bir sayıyı genetik şifre şekline dönüştürme işlemi bir fonksiyon olarak incelemek mümkündür. Fonksiyondaki fenotipler çözüm uzayında, genotipler ise kod uzayında yer almaktadırlar. Çözüm uzayı ve kod uzayının bire bir eşlenebilir olması, herhangi bir kodlama fonksiyonunun başarılı olabilmesi için gereklidir (Eren, 2002). Kodlama için gerçek sayılar, tam sayılar, harfler ya da birtakım semboller uygun olmasına rağmen Holland'ın geliştirdiği 0-1 ikili kodlama sistemi en sık kullanılan

yöntemdir. Genetik algoritmanın işleyişi, kodlamanın hatasız bir şekilde yapılması açısından önem arz etmektedir (Sakawa, 2002).

Genetik algortmada bağımsız parametreler, kromozomlar içerisinde kodlanmaktadır. İki farklı kodlama tekniği bulunmaktadır. Bunlar:

İkili kodlama: Bu kodlama türünde sayılar, ikilik sisteme göre 0 ve 1'den meydana gelmektedir.

Permütasyonlu kodlama: Bu kodlama, sıralama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Kromozomların her biri, dizideki bir sırayı belirten sayılardan meydana gelmektedir.

Büyük popülasyonlarda, çözüm uzayının iyi örneklenmesi dolayısıyla arama etkinliği artmaktadır. Ancak, küçük popülasyonlarda, çözüm uzayı iyi örneklenememe ve ani yakınsama sorunlarıyla karşı karşıya kalabilmektedir (Altıparmak ve Dengiz, 1998).

2. Aşama (Amacın Tanımlanması): Bir çözüm kümesindeki çözümlerin uygunluğunu tespit etmek amacıyla bir amaç fonksiyonu tanımlanmaktadır. Formülleştirmenin güç olduğu problemlerdeki basit kullanımı, genetik algoritmanın faydalarından biridir.

3. Aşama (Başlangıç Popülasyonunun Yaratılması): Bu aşamada, algortmada yer alacak bireyler (ebeveynler) oluşturulmaktadır. Birey sayısının az olması halinde, çaprazlamanın az sayıda birey arasında gerçekleşerek çeşitliliği azaltacak olması sebebi ile algortmada kullanılacak birçok değer işlenmeden atlanmaktadır. Çok sayıda birey olması durumunda ise algortma yavaşlamaktadır. Popülasyon sayısının belli bir değeri aşması halinde bu sayıyı daha da arttırmak, algortmanın verimliliği üzerinde negatif bir etkiye sahiptir. Problemin türüne göre en uygun çözümün başlangıç popülasyon sayısı farklı olup bu sayı genel olarak nesiller boyunca korunmaktadır (Özkan, 2003; Vural, 2005).

4. Aşama (Seçim [Seleksiyon] Operatörü): Uygunluk durumuna göre çaprazlanmak üzere popülasyondan iki tane kromozom seçilmektedir. Yüksek uyum gösteren bireylerin seçilme olasılığı daha yüksek olduğundan bu bireyin sonraki nesile kopyalanması amaçlanmıştır. A. Rulet Çemberi, B. Turnuva ve C. Elitist seçim teknikleri sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir.

A. Rulet Çemberi seçim tekniği, ilk kez Holland tarafından ortaya konmuştur (Holland, 1975). Bireylerin tamamına ait uygunluk değerleri bir tabloda yazılarak toplanır. Bu değerler, toplama bölünür ve (0-1) aralığında sayılar oluşturulup bir çizelgede bir araya getirilir. Sonrasında sayıların birbirine eklenmesi ile herhangi bir sayıya kadar gelinir ve son eklenen sayıya ilişkin çözüm seçilir.

Adım 1: Tüm fonksiyonlar için uygunluk değeri olan (f_i) hesaplanır.

Adım 2: Toplam uygunluk değeri olan ($\sum f$) belirlenir.

Adım 3: Bireylere ait seçilme olasılığı olan $p_i = f_i / \sum f$ hesaplanır.

Adım 4: Bireylerin her biri için olasılık değerleri sınır alınır ve rassal sayı aralıkları oluşturulur.

Adım 5: Birey sayısının rassal sayı atılır.

Adım 6: Bu sayıların karşılığı olan kromozomlar yeni bireyler olarak seçilir.

B. Turnuva seçim tekniğinde, yerine koyarak ya da yerine koymadan rassal olarak t adet birey seçilmektedir ve bu büyüklük, turnuva genişliğini ifade etmektedir. Grubun en iyi bireyi yeni popülasyona kopyalanarak öncesinde belirlenen çevrim sayısının yinelenmektedir. Bunun için $[0.5-1]$ aralığında bir p olasılığı seçilmektedir. Bu yöntem biçiminde en iyi 1. birey diğer kuşağa p , 2. birey diğer kuşağa $p(1 - p)$ ve 3. birey ise diğer kuşağa $p(1 - p)^2$ olasılığıyla geçmektedir.

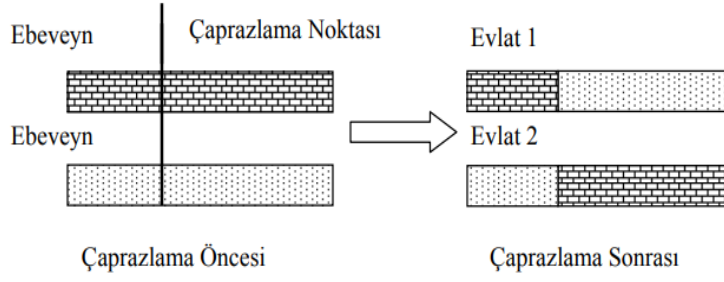
C. Elitist seçim tekniği, popülasyonun en iyi uyum sağlayan bir bireyinin korunarak sonraki nesilde olmasını garanti altına almak ve güçlü nesiller elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. En güçlü bireyin yeni nesilde olmaması halinde en güçsüz olan birey yok edilerek hemen bir önceki nesile ait en güçlü bireyin yerine geçmesi sağlanmaktadır (Vural, 2005).

5. Aşama (Çaprazlama [Crossover] Operatörü): Bu operatörün amacı, popülasyonda olmayan bireylerin yaratılarak aralarındaki çeşitliliğin artırılmasıdır (Vural, 2005; Sakawa, 2002). Genel olarak çaprazlama operatörlerinin tamamında çiftleşme havuzundan iki birey alınır ve karşılıklı olarak gen değiştirilmesi sağlanır (Deb, 2011). Çaprazlama operatörünün en önemli özelliği, popülasyon içindeki herhangi bir bireyin çaprazlama olasılığı olan (p_c)'dir ve genellikle 0.6 ile 1.0 arasındaki değerleri almaktadır. Çaprazlama olasılığı nesilden nesile değişebilmektedir ve bu olasılığın küçük veya büyük değerler alması birtakım sıkıntılara yol açabilmektedir (Vural, 2005).

Seçilmiş ebeveyn kromozomlar, çaprazlama oranı dikkate alınarak yeni bireyler oluşturmak amacıyla çaprazlanmaktadır. Çaprazlama uygulanmaması durumunda bireyler atalarının tamamen kopyası olacaktır. Çaprazlamada L dizi uzunluğunu ifade eder ve $1 \leq k \leq L - 1$ değer aralığında k tam sayısı seçilerek bu tam sayı için diziyeye çaprazlama uygulanmaktadır. Tek noktalı çaprazlama yöntemi en basit çaprazlama yöntemi olup bu yöntemin uygulanma şartı, iki kromozoma ait genlerin aynı uzunluğa sahip olmasıdır. İki noktalı çaprazlama yöntemi ise kromozomun iki noktadan kesilerek pozisyonlarının karşılıklı bir biçimde yer değiştirmesidir (Della Croce ve ark., 1995).

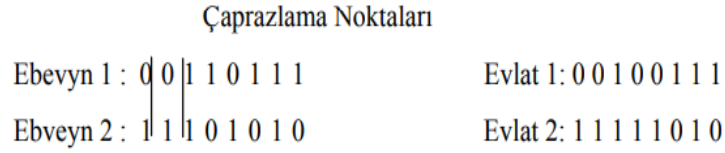
Çaprazlamada, bireylerin iyi özelliklerinin birleştirilmesi ile daha iyi çözümler oluşturması beklenmektedir. Problemin çeşidine göre en çok kullanılan çaprazlama operatörleri; (a) tek nokta, (b) iki nokta, (c) çok nokta ve (d) uniform çaprazlamadır (Katoch ve ark., 2021).

(a) Tek nokta çaprazlama, en basit çaprazlama olarak tanımlanmaktadır. Rassal olarak seçilen kromozom çiftine uygulanmaktadır. Ebeveynlerin özelliklerinden bazılarını alarak elde edilen yeni birey, her iki ebeveyninin de bir kopyası şeklindedir (Eksin ve Erol, 2001). Tek noktalı çaprazlamaya ilişkin bir örnek Şekil 2'de gösterilmiştir (Koza, 1994; Karakoca, 2009).



Şekil 2. Tek nokta çaprazlama (Koza, 1994; Karakoca, 2009).

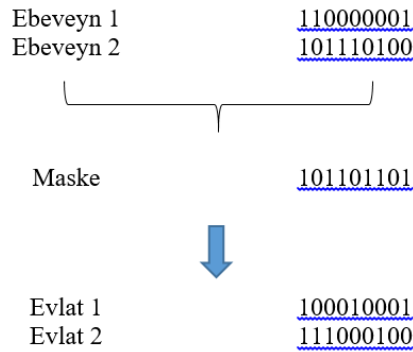
(b) İki noktalı çaprazlama, iki sabit nokta belirlenerek bu iki nokta arasındaki genlerin yer değiştirmesi ile oluşmaktadır. İki noktalı çaprazlamaya ilişkin bir örnek aşağıda şematize edilmiştir (Şekil 3; Karakoca, 2009).



Şekil 3. İki noktalı çaprazlama (Karakoca, 2009).

(c) Çok nokta çaprazlama, iki nokta çaprazlamanın uzantısı şeklindedir. Çözümler, k çaprazlama noktası ile k parçaya bölünür ve birer atlanarak oluşturulan allel bloklarının çiftler arasında değiştirilmesiyle döller elde edilmektedir (Yeniay, 1999).

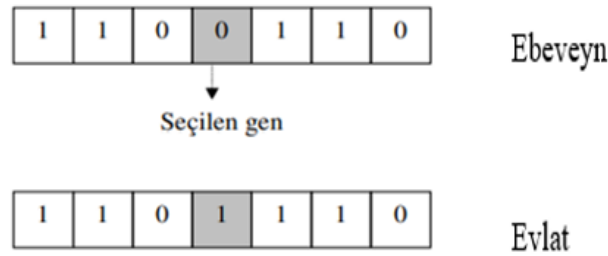
(d) Uniform çaprazlama, n noktalı çaprazlamanın spesifik bir çeşididir. Bu metotta, n genlik kromozom için n gene sahip bir çaprazlama maskesi oluşturulmaktadır. Evlat 1'e ait genler, maskede 0 genin yerindeki değer 1 ise Ebeveyn 1'den, 0 ise Ebeveyn 2'den gelmektedir. Evlat 2'ye ait genler ise maskede 0 genin yerindeki değer 0 ise Ebeveyn 1'den, 1 ise Ebeveyn 2'den gelir. Uniform çaprazlamaya ilişkin bir örnek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4; Sakawa, 2002; Altay, 2007).



Şekil 4. Uniform çaprazlama (Sakawa, 2002; Altay, 2007)

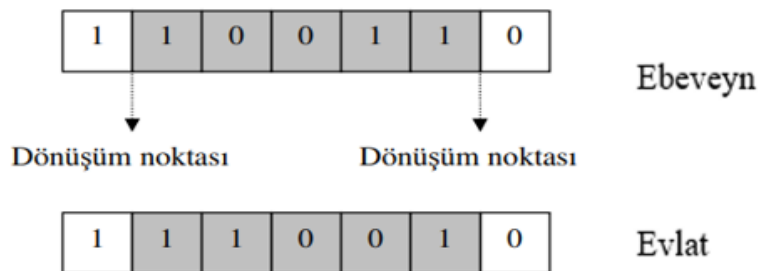
6. Aşama (Mutasyon [Dönüşüm] Operatörü): Mutasyon esnasında, kromozom üzerindeki DNA dizilerinden bazılarının yerleri değiştirilerek mutasyon oranına göre birtakım farklılıklar yapılmaktadır. Yeni popülasyon kabul edilerek sonrasında oluşturulan popülasyon eskisiyle yer değiştirilmektedir. Uygunluk hedef değerine erişildiğinde program durdurularak en iyi çözüm alınmaktadır (Jang ve ark., 1997). Mutasyon operatörü, yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasının önüne geçmek ve hızlı bir şekilde çözüm elde etmek amacıyla kullanılmaktadır (Kurt ve Semetay, 2001). Mutasyon operatörü, nesiller boyunca yitirilmiş bir allelin geri çağrılmasında ve bir geni allellerinden biriyle değiştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Deb, 2011). $(p)_m$, mutasyon operatörünün en önemli özelliği olup dönüşüm olasılığı olarak tanımlanmaktadır ve bu olasılık, bir genin mutasyona uğrama olasılığını ifade etmektedir. Popülasyonda beklenen dönüşümün değeri, $(p)_m$ 'nin o popülasyonda bulunan gen sayısı ile çarpımına eşittir (Vural, 2005). Bu olasılık değeri genel olarak 0.001 ile 0.01 arasında değişim göstermektedir (Man ve ark., 1999). Aşağıda dönüşüm yöntemlerine ilişkin açıklamalara yer verilmiştir:

Basit Dönüşüm: Herhangi bir genin kromozomdan seçilerek alleli ile değiştirilmesidir (Şekil 5; Man ve ark., 1999; Altay, 2007).



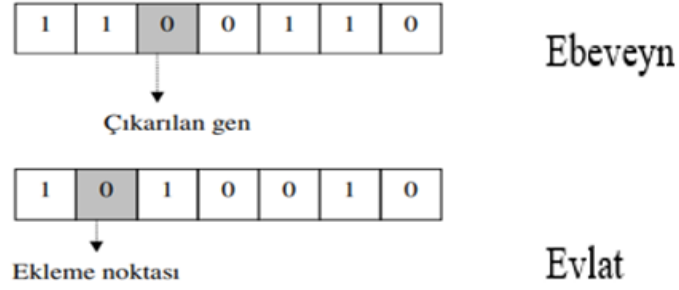
Şekil 5. Basit dönüşüm (Man ve ark., 2001; Altay, 2007)

Değiştirme Dönüşümü: İki dönüşüm noktası belirlenerek, genlerin ters çevrilmesidir (Şekil 6; Sakawa, 2002; Altay, 2007).



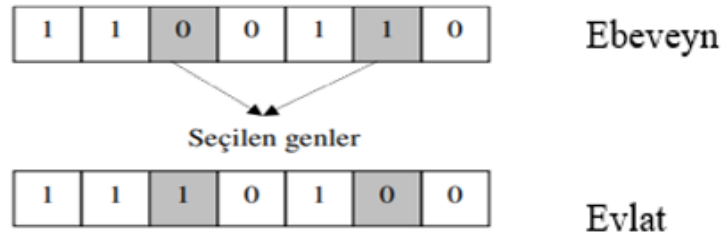
Şekil 6. Değiştirme dönüşümü (Sakawa, 2002; Altay, 2007)

Ekleme Dönüşümü: Rastgele bir genin seçilerek rassal bir noktaya yerleştirilmesidir (Şekil 7; Sakawa, 2002; Altay, 2007).



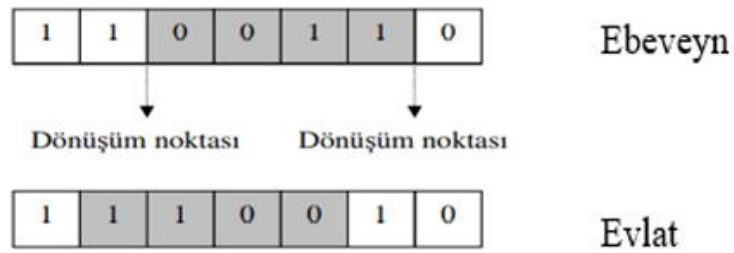
Şekil 7. Ekleme dönüşümü (Sakawa, 2002; Altay, 2007)

Karşılıklı Değişim Dönüşümü: Rastgele iki genin seçilerek yerlerinin değiştirilmesidir (Şekil 8; Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007).



Şekil 8. Karşılıklı değişim dönüşümü (Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007)

Yer Değiştirme Dönüşümü: Bu mutasyon çeşidi, değiştirme dönüşümünün özel bir şeklidir ve değiştirme dönüşümünde olduğu üzere iki nokta arasındaki genler ters çevrilmektedir (Şekil 9; Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007).



Şekil 9. Yer değiştirme dönüşümü (Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007)

Mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere çaprazlama kullanılmaktadır; ancak, popülasyonun ihtiyaç duyulan bilgiyi içermemesi durumunda elle tutulur bir çözüm üretemeyebilmektedir. Bu sebeple eldeki kromozomlardan yeni kromozomlar üretebilecek bir operatöre gereksinim vardır ve bu operatör mutasyon tarafından gerçekleştirilmektedir. Mutasyon operatörünün amacı, elde edilmesi güç çözüm kayıplarının önüne geçmektir (Goldberg, 1989).

7. Aşama (Bitiş Ölçütlerine Ulaşılması): Nesillerin döngülerinin sonlandırılması için ihtiyaç duyulan kıstaslar çeşitli biçimlerde tanımlanabilmektedir. Bu ölçütlerden bazıları aşağıda verildiğı gibidir:

- i. Nesil sayısı sonlandırıldıktan sonra döngüler durdurularak hangisinin en çok uygunluk gösterdiğine bakılır (Man ve ark., 1999).
- ii. Uygunluk fonksiyonundaki iyileşmenin belli bir değerin altına düşmesi halinde döngüler sonlandırılır (Man ve ark., 1999).
- iii. Evrim için belirli bir zaman tanınır ve bu zaman sona erdiğinde evrim durdurulabilir (Vural, 2005).
- iv. Uygunluk fonksiyonuna verilen değer açıldığında evrim sonlandırılabilir (Man ve ark., 1999).

8. Aşama (En İyi Sonucun Gösterilmesi): Sonlandırma kıstaslarına erişildiğinde, en iyi değer problemin çözümü şeklinde kabul edilmektedir.

Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Genetik algoritma performansı bakımından önemli olan parametreleri tespit etmek üzere çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen problemlerin hepsi için kullanılacak genel parametreler tanımlanamamıştır (Altıparmak ve ark., 2000). Kontrol parametreleri şeklinde adlandırılan bu parametrelere ilişkin açıklamalar aşağıda yer verildiğı gibidir (Sinriech ve Samakh, 1999; Yeniay, 2001).

Popülasyon Büyüklüğü: Genetik algoritma kullanıcısının verdiğı en önemli kararlardan biridir. Popülasyon büyüdükçe çözüme ulaşma süresi artmaktadır. Goldberg, sadece kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yönteminden bahsetmiştir.

Çaprazlama Olasılığı: Var olan iyi kromozomların birtakım özelliklerinin birleştirilmesi ile daha iyi kromozomlar yaratmak çaprazlamanın amacıdır. Kromozom ikilileri, $P(c)$ olasılığı ile aprazlanmak için seçilmektedirler. Çaprazlamanın çoğalması ile yapı blokları artıyorken iyi kromozomlardan bazılarının bozulma olasılığı da artmaktadır.

Mutasyon Olasılığı: Popülasyondaki genetik eşitliliğı korumak mutasyonun amacı olup $P(m)$ olasılığı ile kromozomun her bitinde mutasyon oluşabilmektedir. Genetik arama, mutasyon olasılığının artması ile rassal bir aramaya dönüşmektedir.

Kuşak Aralığı: Yeni kromozomun her kuşaktaki oranına kuşak aralığı adı verilmektedir. Genetik operatörler için seçilen kromozom sayısını ifade etmektedir. Bu aralığın yüksek olması durumunda kromozomların birçoğunun pozisyon değiştirdiği anlaşılmaktadır.

Seçim Stratejisi: Kuşaksal stratejiye göre yavrular, mevcut popülasyondaki kromozomlar ile yer değiştirmektedir. Popülasyondaki en uygun kromozomun yenilenmesi sonucunda sonraki kuşağa aktarılması mümkün olmadığından elitist stratejisi ile birlikte çalışmaktadır. Denge durumu stratejisine göre her kuşakta sadece birkaç kromozomun yenilenmesi mümkün olabilmektedir.

Fonksiyon Ölçeklemesi: En iyi ölçekleme tekniğinin belirlenmesi, genetik algoritmanın düzgün bir biçimde çalışması bakımından önemlidir. Doğrusal ölçekleme ve üstsel ölçekleme gibi birtakım metotlar bulunmaktadır.

Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Genetik algoritmalar, karmaşık problemleri en iyiye yakın, pratik ve başarılı bir şekilde çözümlenebilmektedir. Geleneksel yöntemler hesaplama süresini arttırdığı için genetik algoritmalar yardımıyla güç problemlere kısa zamanda ve makul çözümler sunulabilmektedir (Gonzalez, 2000). Genetik algoritma çalışmalarının birçoğu fonksiyon optimizasyonu ile ilgili olup geleneksel yöntemlere oranla güç, sürekli olmayan ve gürültülü (noisy) fonksiyonları çözüme ulaştırmada oldukça başarılıdır (Bull ve Martin, 1993; Beasley, 2003).

Hücrel üretim kavramı, üretim sistemlerinin verimliliğini arttırmak için kullanılan etkenlerden biridir. Parça ailelerini belirleyip her bir parça ailesini ayrı bir üretim hücresinde üreterek hücreler arası taşımaları minimum düzeye indirmeyi hedeflemektedir (Brown ve Sumichrast, 2001). İşler'in hücrel üretim konulu araştırmasında, üretim hücrelerinin yapısını belirten bilgiler iki kısım şeklindedir. Birinci kısımda, tezgâh-hücre ilişkilerinden, ikincisinde ise parça-hücre ilişkilerinden bahsedilmiştir. Genetik algoritmalar sayesinde birden çok çözümün eş zamanlı olarak ele alınması ve farklı bölgelerin aynı anda taranması mümkündür. Sonuç olarak, kısa zamanda uygun sonuçların elde edilmesi sağlanmaktadır (İşler, 2001).

Genetik algoritmalarla faydalanarak bilgisayar ağlarının tasarımı yapılabilmektedir. Bu problem türünde çap, bilgisayar ağ güvenilirliği ve ortalama uzaklık gibi ağ güvenilirlik parametrelerini optimize etmek üzere birden çok amaç fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Ağ tasarımı yapmak üzere genetik algoritmaların kullanılması, tasarım maliyetleri ve sürelerinin azalması bakımından önemli katkılar sağlamıştır. Bilhassa, çok büyük miktardaki verinin asgari iletişim kanalıyla taşınmasında oldukça iyi bir performans sergilemiştir (Davis ve Coombs, 1987).

Genetik algoritmalar, finans problemlerinin çözümünde bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile beraber kullanılmaktadır. Hibrid ve yumuşak hesaplama, bu alanda sıklıkla uygulanan genetik algoritma yaklaşım türlerindedir (Schlottmann ve Seese, 2001).

Pazarlama stratejileri uygulamak ve tüketicilere ait verileri analiz etmek pazarlamanın en önemli fonksiyonlarından. Tüketici profillerinin çıkarılması ile birtakım satın alma kalıpları yakalanabilmektedir; ancak, bunun yapılabilmesi için oldukça büyük veri tabanlarının işletme amaçlarına uygun bir biçimde hızlı ve etkili bir şekilde kullanılması önemlidir. Burada kullanılan teknik, pazarı ve tüketiciyi tanımada oldukça önemli bir yer tutan ve çok geniş veri tabanlarından veriyi ayıklama yöntemi olarak tanımlanan veri madenciliğidir. Bu yöntem sayesinde verinin bilgiye, bilginin de güvenli kararlara dönüştürülmesi sağlanmış olur. Rekabet kabiliyeti, karar alma kalitesine bağlı olduğundan işletmeler karar kalitelerini geliştirmek için daima çalışmaktadırlar (Bhattacharyya, 1999). Genetik algoritmalar, veri madenciliği tatbikinde, çözüm uzayının sadece bir bölümünü taramasından dolayı diğer tekniklere kıyasla daha hızlı ve pratik çözümler sunmaktadır. Genetik algoritmaların, veri madenciliğinde özellikle diğer yumuşak hesaplama yöntemleri ile beraber kullanılarak önemli bir uygulama alanı oluşturması beklenmektedir (Taşkın ve Emel, 2002).

Sonuç

Genetik algoritmalar, geleneksel yöntemlerle çözümü zor ya da mümkün olmayan problemlerin çözümünde, türev ve integral gibi hesaplaması daha karmaşık matematiksel ifadelerde ve diğer alanlardaki birtakım optimizasyon problemlerinde çok fazla kullanım olanağı bularak oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Bolat ve ark., 2004; Mirjalili ve ark., 2020). Geleneksel yöntemler hesaplama süresini arttırdığı için güç problemler, genetik algoritmalar aracılığı ile kısa zamanda elverişli çözümler sunmaktadır (Bull ve Martin, 1993; Beasley, 2003). Genetik algoritmalar sayesinde birden çok çözüm eş zamanlı olarak ele alınarak farklı bölgeler aynı anda taranmaktadır. Sonuç itibariyle, en kısa süre içerisinde uygun sonuçların elde edilmesi mümkün olabilmektedir (İşlier, 2001).

Bu çalışmada, genetik algoritma ile ilgili tanımlar, genetik algoritmanın çalışma prensibi ve akış diyagramındaki adımlar incelenmiştir. En iyi bireyi elde etmek için yararlanılan seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik operatörlere özelliklerine göre karşılaştırmalı olarak yer verilmiştir. Genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkileri olan parametre seçimleri tanıtılarak en uygun kontrol parametrelerini belirlemek üzere birçok çalışma yapılmasına rağmen tüm problemler için ortak bir kullanıma sahip parametreler bulunamadığının altı çizilmiştir. Genetik algoritmaların uygulama imkânı bulduğu ve farklı birçok problemin çözümünde kullanıldığı alanlardan genel hatları ile bahsedilmiştir.

Genetik algoritma alanındaki gelişmeler, gelecekteki araştırmalara ışık tutması açısından büyük bir önem taşımaktadır. Genetik kodlama mantığı kullanılarak en iyi çözüme sahip bir sonuç bulmayı hedefleyen genetik algoritmanın, gelişen teknoloji ve bilgisayar ağı sayesinde veri madenciliği, yapay zekâ, bulanık mantık, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi çeşitli yöntem ve yaklaşımlarla birlikte çalışarak önemli bir uygulama alanı bulacağı beklenmektedir.

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

- Altay A. Genetik algoritma ve bir uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- Altıparmak F., Dengiz B. Genetik algoritmalar. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1998; 11(3): 523-541.
- Altıparmak F., Dengiz B. Smith AE. An evolutionary approach for reliability optimization in fixed topology computer networks. Transactions On Operational Research 2000; 12(1-2): 57-75.
- Beasley D., Bull DR., Martin RR. An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals. University Computing 1993; 15(2): 56-69.
- Bhattacharyya S. Direct marketing performance modeling using genetic algorithms. Journal on Computing 1999; 11(3): 248-267.
- Bolat B., Erol K., Imrak C. Genetic algorithms in engineering applications and the function of operators. Sigma 2004; 4: 264-271.
- Brown EC., Sumichrast RT. CF-GGA: a grouping genetic algorithm for the cell formation problem. International Journal of Production Research 2001; 39(16): 3651-3669.
- Davis L., Coombs S. Genetic algorithms and communication link speed design: theoretical considerations. In ICGA 1987. 252-256.
- Deb K. Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction. In: Multi-Objective Evolutionary Optimisation for Product Design and Manufacturing Springer 2011. 3-34.
- Della Croce F., Tadei R., Volta G. A genetic algorithm for the job shop problem. Computers & Operations Research 1995; 22(1): 15-24.
- Eksin I., Erol OK. Evolutionary algorithm with modifications in the reproduction phase. IEE Proceedings-Software 2001; 148(2): 75-80.
- Emel GG., Taşkın Ç. Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2002; 21(1): 129-152.
- Eren H. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma (GA) ile çözüm performansının artırılmasında deney tasarımı uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 2002.

- Gen M., Cheng R. Genetic algorithms & engineering design. John Wiley& Sons. Inc. 1997; 10: 9780470172254.
- Goldberg DE. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison. Reading, 1989.
- Gonzalez EL., Fernandez MAR. Genetic optimisation of a fuzzy distribution model. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2000.
- Holland JH. Adaptation in natural and artificial systems, ann arbor: University of Michigan Press, 1975.
- İşlier AA. Üretim hücrelerinin bir genetik algoritma kullanılarak oluşturulması. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi: A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik 2001; 2(1): 137-157.
- Jang JSR., Sun CT., Mizutani E. Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]. IEEE Transactions on Automatic Control 1997; 42(10): 1482-1484.
- Karakoca A. Çok değişkenli lineer olmayan modellerde genetik algoritma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, Türkiye, 2009.
- Katoch S., Chauhan SS., Kumar V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. Multimedia Tools and Applications 2021; 80(5): 8091-8126.
- Koza JR. Genetic programming, on the programming of computers by means of natural selection. A Bradford Book. MIT Press; 1992.
- Koza JR. Genetic programming II: automatic discovery of reusable programs. MIT press; 1994.
- Kurt M., Semetay C. Genetik algoritma ve uygulama alanları. Mühendis ve Makine 2001; 42(501): 19-24.
- Man KF., Tang KS., Kwong S. Genetic algorithms. Springer Publishing; 1999.
- Mirjalili S., Dong JS., Sadiq AS., Faris H. Genetic algorithm: theory, literature review, and application in image reconstruction. Nature-Inspired Optimizers, Studies in Computational Intelligence 811 2020; 69-85.
- Özkan R. Tek modelli deterministik montaj hattı dengeleme problemlerine genetik algoritma ile çözüm yaklaşımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- Rechenberg I. Evolutionstrategie (Evolution strategy). Stuttgart: Frommann-Holzboog; 1973.
- Sakawa M. Genetic algorithms and fuzzy multiobjective optimization. Springer Science & Business Media, 2002; 4.
- Schlottmann F., Seese D. A hybrid genetic-quantitative method for risk-return optimisation of credit portfolios. In Proceedings of the Conference of Quantitative Methods in Finance, University of Technology, Sydney, Australia, 2001. 55.

- Sinriech D., Samakh E. A genetic approach to the pickup/delivery station location problem in segmented flow based material handling systems. *Journal of Manufacturing Systems* 1999; 18(2): 81-99.
- Vural M. Genetik algoritma yöntemi ile toplu üretim planlama İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Yeniay MÖ. Taguchi deney tasarımı problemlerine genetik algoritma yaklaşımı. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, Türkiye, 1999.
- Yeniay Ö. An overview of genetic algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2001; 2(1): 37-49.
- Zhou Y. Study on genetic algorithm improvement and application. Worcester Polytechnic Institute, PhD Thesis, 2006.